

СЕКЦИЯ 1.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Д.С. Аверкина

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВА К ВЫБОРУ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Стойкость инструмента характеризуется его способностью без переточки длительное время обрабатывать заготовки в соответствии с техническими требованиями. Величина стойкости определяется временем непосредственной работы инструмента (исключая время перерывов) от переточки до переточки; это время называется периодом стойкости инструмента или стойкостью инструмента.

При оценке обрабатываемости материала и режущей способности режущего инструмента различают четыре основных оценочных величины периода стойкости инструмента: силу резания, шероховатость поверхности обработанной заготовки и условия стружкообразования. Для характеристики обрабатываемости одновременно используют несколько оценочных величин, но в общем случае предпочтительнее период стойкости инструмента.

Период стойкости T – это время (в мин), течение которого инструмент может производить резание, т.е. время от начала работы инструмента до прихода его в состояние невозможности дальнейшего использования, которое определяется по заданному критерию стойкости или для неперетачиваемых инструментов - до их замены. Обычно принимают $T = 45 \dots 60$ мин.

В зависимости от способа обработки для оценки стойкостных возможностей инструмента используются и другие показатели стойкости: путь резания, проходимый инструментом по обрабатываемой поверхности; число деталей, обработанных за период стойкости; площадь обработанной поверхности или объем стружки, полученные за тот же период.

Путь L за период стойкости - это путь, который инструмент или режущая кромка могут пройти до достижения выбранного критерия стойкости (например, для оценки стойкости сверл). В отношении движений необходимо различать путь за период стойкости в направлении действительного движения резания и движения подачи.

Стойкость можно определить числом обработанных заготовок или рабочих операций, после выполнения которых инструмент или его режущая кромка достигают выбранного критерия стойкости.

Обычно период стойкости устанавливается: по справочной литературе; принудительно, как правило, в зависимости от цикла обработки или с целью повышения производительности (например, подачи); экспериментальным путем.

Экспериментальное определение периода стойкости. В этом случае в течение долгого времени проводятся эксперименты по определению точных значений периодов стойкости для наиболее часто встречающихся условий резания. В связи с большим расходом материалов и затратами времени эти эксперименты проводят преимущественно для условий массового производства.

Результаты исследований служат основой для определения оптимальных условий резания.

Ограниченные эксперименты проводят для определения относительных исходных значений обрабатываемости материалов, при обеспечении возможности их минимального расхода и уменьшения затрат времени. Характеристика таких опытов не позволяет сделать прямых заключений относительно периода стойкости инструмента. Их используют, как исходные контрольные значения для обрабатываемых и обрабатывающих материалов, а также для проверки обрабатываемости.

Определение стойкости по температуре. Опыты по температурному определению периода стойкости инструмента служат для установления времени, в течение которого инструмент в состоянии проводить работу резания при определенных условиях. Характеристикой температурного периода стойкости является потеря кромкой режущей способности, т.е. ее переход в состояние, когда существует чистое трение.

Недостатками этого способа являются: необходимость испытаний двух и более выборок объектов в двух и более отдельных температурных режимах, либо экспериментальное определение по изменению свойств образцов материалов при нескольких температурах значений энергий активации (температурных коэффициентов), входящих в расчетные формулы, и только после этого становится возможным проведение в лабораторных условиях ускоренных испытаний объектов на тепловое старение.

Определение периода стойкости по износу. Такие эксперименты проводятся в тех случаях, когда к потере режущей способности инструмента приводит не изменение температуры резания, а, в первую очередь, износ инструмента. Инструменты из твердых сплавов и быстрорежущих сталей, работающие при высоких скоростях резания в большинстве случаев имеют одинаковый износ по передней и задней граням, который ограничивает период стойкости инструмента. В опытах по определению периода стойкости токарного инструмента по его износу при продольном точении с постоянной скоростью резания предусмотрено измерение износа на задней и передней поверхностях инструмента через различные промежутки времени. В общем случае достаточно определить ширину VB площадки износа на задней грани, глубину КТ лунки и расстояние КМ от середины лунки износа до режущей кромки (рис. 23). При этом в зависимости от продолжительности резания для четырех различных скоростей резания (с заданной разностью между ними) определяют увеличения ширины площадки износа, а также изменения положения середины лунки.

Определение периода стойкости по звуку. Прогнозирование значение стойкости инструмента позволяет, в свою очередь, оценить степень износа инструмента, что дает дополнительную информацию при принятии решения о своевременной замене инструмента. Предлагаемый метод наиболее просто внедрить на станках с ЧПУ.

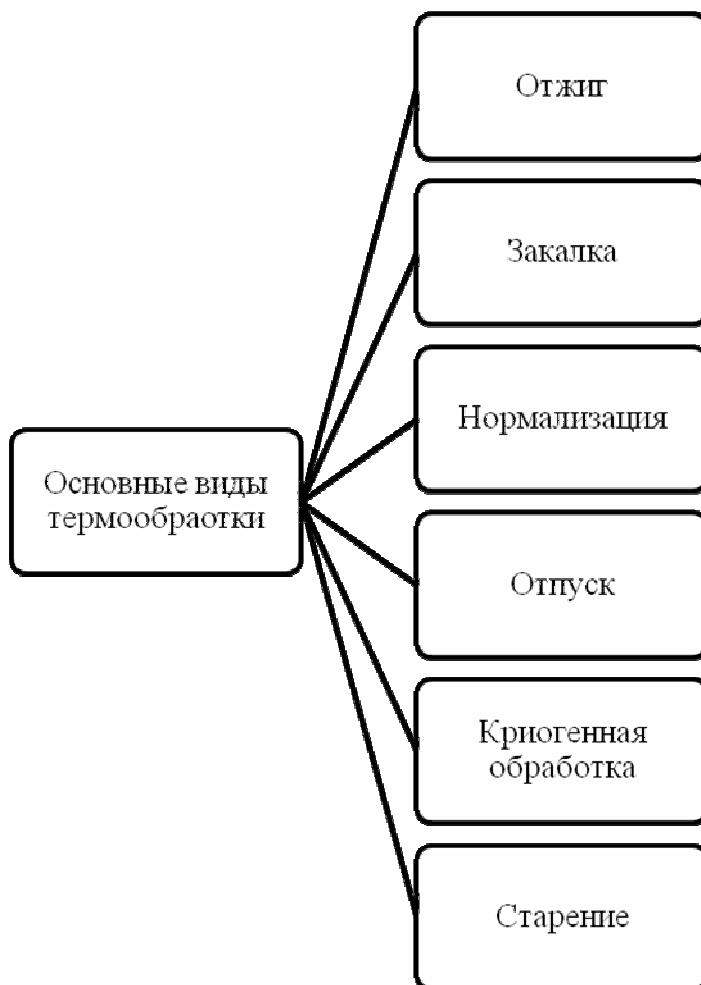
Список литературы

- [1]. *Васильев Е.В., Иванов П.С., Игисенов Б.К., Креймер А.В., Рейтер Д.Б.* Анализ способов повышения износостойкости режущего инструмента. В сборнике: Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее сборник статей XV Международной научно-практической конференции: в 3 ч.
- [2]. *Лазарев Д.Е., Насад Т.Г.* Режущие инструменты для повышения качества и производительности механической обработки точных отверстий, Стин. 2014. № 1. С. 14-17
- [3]. *Сырицкий А.Б.*, «Диагностика режущего инструмента в контексте повышения эффективности и производительности металлообработки». В сборнике: Россия молодая Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2015. С. 688
- [4]. *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Зенкин Н.В.* Энергия поверхностного слоя металлов как инструмент воздействия на величину коэффициента трения, Фундаментальные исследования. 2015. № 2-2 С. 251-254
- [5]. *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Антонюк Ф.И.* Влияние технологического воздействия на энергетическое состояния поверхностного слоя деталей, Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-1 С. 59
- [6]. *Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В.* Выбор метода для автоматизации контроля состояния режущего инструмента, Южно-Сибирский научный вестник. 2014. №3 (7). С. 53-55
- [7]. *Малышев Е.Н., Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Антонюк Ф.И.* Распределение энергии технологического воздействия при формировании рабочих поверхностей деталей машин из металлических материалов, Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 58
- [8]. *Водин Д.В.* Снижение затрат на режущий инструмент как фактор конкурентоспособного развития предприятия в машиностроении [Текст] // Экономика, управление, финансы: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Краснодар, февраль 2016 г.). — Краснодар: Новация, 2016. — С. 28-30
- [9]. *Старков В.К.* Физика и оптимизация резания материалов. [Электронный ресурс] / Старков В.К. - М.: Машиностроение, 2009. — С. 368-446
- [10] *Залогова В.А., Нагорный В.В.* Определение стойкости инструмента и степени его износа по уровню звука, сопровождающего процесс резания, Металлообработка, no. 2 (74), 2013, pp. 14-22

Аверкина Дарья Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: daryaaverkina@yandex.ru

ВЫБОР ВИДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛИ

Термическая обработка – это процесс изменения структуры металлов и сплавов за счет влияния на них температуры.



Для обеспечения необходимых свойств и структур применяют различные методики проведения термообработки.

В табл.1 представлены виды термической обработки.

Таблица 1

Виды термической обработки

| Название | Описание |
|----------|---|
| 1 | 2 |
| Отжиг | Это вид термической обработки, когда металл нагревают, а затем медленно охлаждают. В результате получаем снижение твердости материала, придание пластичности, ударной вязкости, а также устранение внутренних напряжений. |

| Название | Описание |
|----------------------|---|
| 1 | 2 |
| Закалка | Это вид термической обработки, который проводится с повышенной скоростью охлаждения с целью повышения неравновесных структур. Благодаря закалке можно придать недорогому металлу более высокие эксплуатационные свойства. Так как используя более дешевые сорта металла снижается стоимость изготовления изделий. |
| Нормализация | Это вид термической обработки, при котором материал подвергают нагреву до заданной температуры, выдержке и последующем охлаждении. В результате нормализации можно как повысить, так и наоборот снизить твердость стали, ударную вязкость и прочность. |
| Отпуск | Это вид термической обработки, при котором закалённую сталь нагревают до температуры ниже критической точки, после чего её охлаждают. В закалённой на мартенсит стали появляется высокая твердость и прочность, но при этом возникают большие внутренние напряжения, поэтому после такой обработки сталь становится очень хрупкой и легко разрушается от ударных и изгибающих нагрузок. |
| Криогенная обработка | Это вид термической обработки, применяемый для заготовок и готовых металлических изделий при сверхнизких температурах для снятия остаточных напряжений и повышения износостойкости деталей. [1-3] |
| Старение | Это изменение свойств материала, протекающее во времени без заметного изменения микроструктуры. Такие процессы происходят главным образом в низкоуглеродистых сталях. При старении за счёт скопления атомов углерода на дислокациях или выделения избыточных фаз из феррита повышаются прочность, порог хладноломкости, но снижается сопротивление хрупкому разрушению. Склонность стали к старению снижается при легировании её алюминием, титаном или ванадием. [4] |

Таким образом, зная какие механические и физико-свойства необходимо обеспечить в процессе изготовления детали можно подобрать наиболее эффективным метод термической обработки.

Список литературы

- [1]. Зуев В.М. «Термическая обработка металлов» М. Высшая школа 1986 г.
- [2]. Термическая обработка металлов (1957) Б.П. Захаров. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[3]. *Теория термической обработки металлов* (1986) И.И. Новиков.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.

[4]. *Назаров Е.Г., Масленков С.Б.* *Металловедение и термическая обработка металлов*, № 3, 1970 г.

Михаил Сергеевич Вишневский – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mishavishnevskiy74@gmail.com

Н.Г. Букреева

ВЫБОР ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА С ПЛАСТИНКОЙ ИЗ ЭЛЬБОРА-Р ПРИ «ТВЕРДОМ ТОЧЕНИИ»

В период прогрессирующего машиностроения неуклонно растут требования к качеству и надежности машин, что вызывает необходимость

модернизации технологических процессов их изготовления с помощью современных финишных методов обработки. При верно рассчитанных режимах обработки и подобранном материале режущего инструмента на завершающих этапах технологического маршрута, ликвидируются накопленные дефекты на предыдущих операциях, за счет чего можно значительно увеличить долговечность машин.

Среди заключительных методов обработки наружных поверхностей широко применяются теперь методы чистовой обработки без снятия стружки пластическим деформированием, после использования которых первоначальные объемы заготовок не изменяются. К таким методам относятся обкатывание, алмазное выглаживание, вибронакатывание.

Обкатывание и раскатывание. Этими методами производят отделку и упрочнение различных поверхностей. Суть этих методов состоит в том, что под действием давления поверхностные слои металла, соприкасаясь с инструментом высокой твердости, оказываются в состоянии всестороннего сжатия и пластически деформируются.

Алмазное выглаживание. Используется этот метод для получения высокого качества поверхности деталей, за счет чего и улучшаются её эксплуатационные свойства. Этим способ применяется при чистовой обработке деталей из углеродистых, легированных и закаленных сталей, чугунов и различных сплавов.

Так же пользуются популярностью методы со снятием стружки: шлифование, хонингование, суперфиниширование, твердое точение и другие.

Хонингование. Этот вид абразивной обработки характеризуется применением хонинговальных головок (хонов). В основном используется для обработки внутренних цилиндрических отверстий путём сочетания вращательного и поступательно-возвратного движения хона с обильным использованием на обрабатываемой поверхности смазочно-охлаждающей жидкости.

Суперфиниширование. Данный метод осуществляется мелкозернистыми абразивными или алмазными брусками за счет их осциллирующего движения в сочетании с вращением и продольной подачей детали или брусков.

Для повышения эффективности производства и, как следствие, снижение его трудоемкости и себестоимости необходимо применение новых методов обработки деталей. Одним из наиболее многообещающих является процесс так называемого «твердого точения».

Твердое точение. Суть процесса обработки состоит в специально по-

добранных режимах резания, материалах инструмента и его геометрических параметрах, обеспечивающих в зоне контакта заготовки с лезвием инструмента во время обработки повышение температуры до 1500 °С, что соизмеримо с температурой плавления стали 1300–1500 °С.

Анализ процесса обработки закаленных сталей (HRC>40) позволил сделать вывод о том, что изменение механических свойств в зоне стружкообразования возможно только при условии оптимального использования тепла, образующегося при резании. В совокупности опыт и теоретические расчеты показывают, что управление этим теплом реализуется с помощью грамотного назначения скорости резания V , толщины стружки и геометрии режущего лезвия, в особенности переднего угла резца γ .

Наиболее важным фактором является не количество тепла, перешедшее в стружку, инструмент или обрабатываемую деталь, а характер температурных полей и их напряженность в образования стружки и ее отделения (обработанной поверхности). Значение напряженности этих температурных полей для выбранных условий резания удобнее корректировать, изменяя геометрию режущей кромки резца.

Резцы, оснащенные эльбором-Р, изнашиваются в основном по задней грани. Для установления величины допустимого износа было произведено исследование влияния h_3 на составляющие силы резания. Результаты исследования приведены на рис. 1.

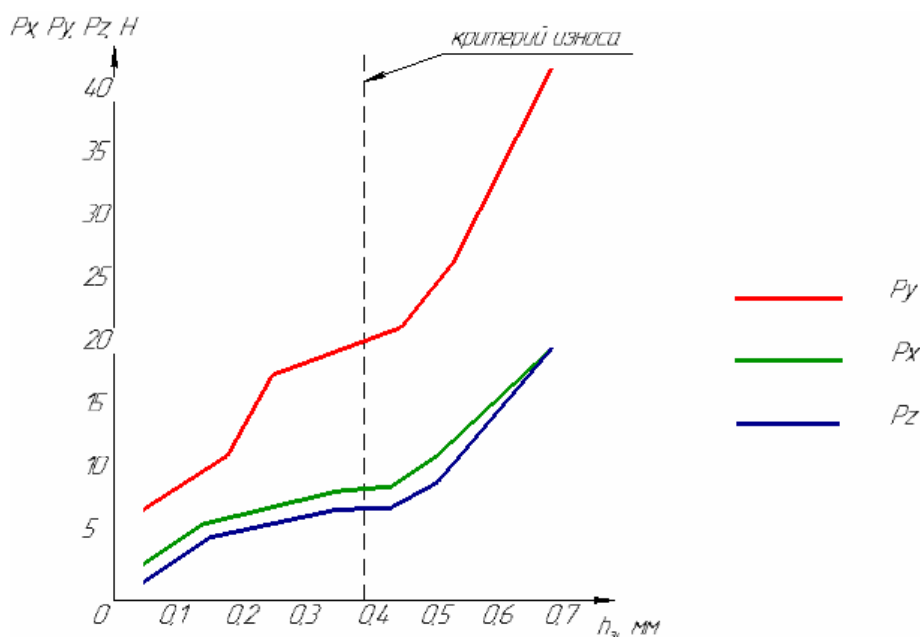


Рис. 1. Влияние износа по задней поверхности на компоненты сил резания

Геометрия резца: $\gamma = 10^\circ, \alpha = 18^\circ, \varphi = 50^\circ, \varphi_1 = 10^\circ, \lambda = 0^\circ, r = 0,1 \text{ мм}$.

По результатам этого исследования был сделан вывод, что в начальный период резания резко увеличиваются все составляющие силы резания, но вскоре, с ростом износа по задней поверхности, силы резания увеличиваются незначительно.

На рис. 2 приведен анализ данных исследований влияния величины переднего угла резца γ на его стойкость при точении стали Х12М твердость которой HRC=62 на следующих режимах, мм:

$$V = 60(\text{м/мин}), S_0 = 0,07(\text{мм/об}), t = 0,15.$$

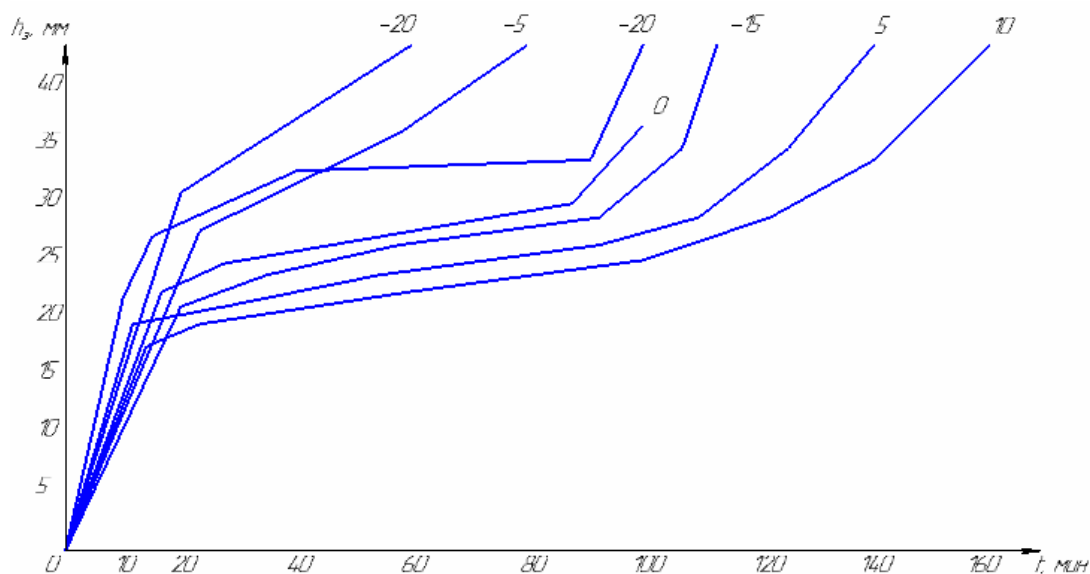


Рис. 2. Влияние переднего угла на износ по задней грани

Геометрия резцов: $\alpha = 18^\circ, \varphi = 50^\circ, \varphi_1 = 10^\circ, \lambda = 0^\circ, r = 0,1\text{мм}$. Угол γ варьируется в пределах от $+10^\circ$ до -20° . При проведении каждого испытания определялась величина износа резца по задней грани через 10, 20, 40, 60 и т.д. минут работы режущего инструмента. Результат исследований, приведенных на рис.2, показывает, что наибольшая стойкость при одном и том же износе по задней грани 0,4 мм получена у резцов с углом $\gamma = -10^\circ$. При работе с положительным углом γ было выявлено выкрашивание резцов в связи с их слабой прочностью.

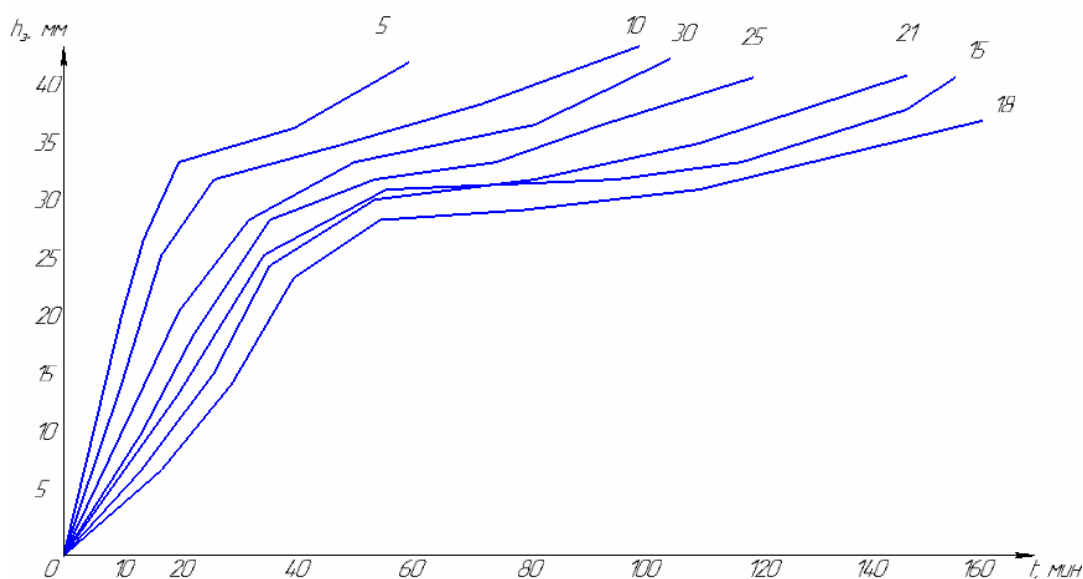


Рис. 3. Влияние заднего угла на износ по задней поверхности

На рис. 3 приведены оптимальные значения заднего угла при обработке той же стали Х12М. Угол α изменялся в пределах 5-30°. Значения остальных геометрических параметров те же, что и в описанных ранее результатах.

При изучении из рис. 3 видно, что при увеличении угла α до 16-20° стойкость резцов увеличивается, но дальнейшее увеличение угла α до 30° приводит к уменьшению стойкости и появлению сколов.

Так как обрабатываемая сталь обладает высокой твердостью, а эльбор-Р повышенной хрупкостью, достаточное значение приобретает и правильный выбор главного и вспомогательного угла в плане φ, φ_1 , а также радиуса при вершине режущей кромки r .

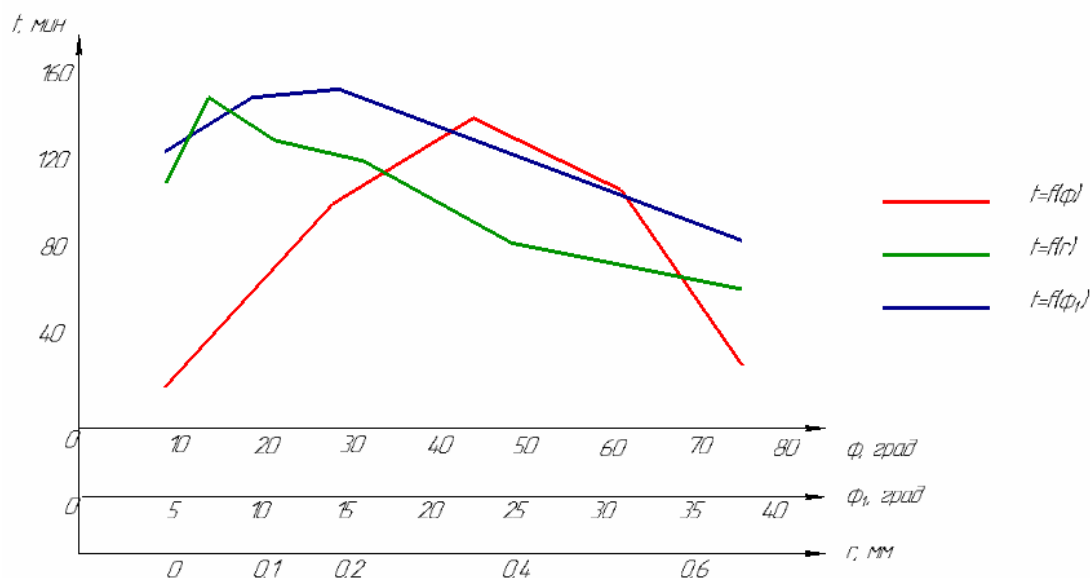


Рис. 4. Влияние главного, вспомогательного углов в плане и радиуса при вершине на стойкость резца

На рис. 4 приведены результаты исследований при изменении угла φ в пределах от 10 до 90°, угла φ_1 - от 5 до 45°, радиуса при вершине r – от 0,1 до 1 мм. Значения прочих параметров остаются неизменными.

Наиболее благоприятным значением главного угла в плане является значение, равное 50°, при его уменьшении (менее 45°), заметно появление вибраций, а на обрабатываемой поверхности – следов дробления.

Вспомогательный угол в плане φ_1 незначительно влияет на стойкость резцов.

В ходе выполнения исследований были выявлены рекомендуемые геометрические параметры: $\gamma = -6... -8^\circ, \alpha = 18^\circ, \varphi = 50^\circ, \varphi_1 = 10^\circ, \lambda = 0^\circ, r = 0,1 \text{ мм}$.

Список литературы

[1]. *Технология машиностроения*. В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.

[2]. *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для

студ.высш. учеб.заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с.

[3]. *Дальский А.М.* Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

[4]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[5]. *Блюменштейн В.Ю., Клецов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

[6]. *Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б.* Проектирование технологической оснастки в машиностроении. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2013. 304 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.

[7]. *Балакшин Б.С.* Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1996. 156с.

[8]. *Колмогоров В.Л.* Механика обработки металлов давлением. - М.: Металлургия, 1986. 688 с.

[9]. *Бойцов В.В., Трофимов И.Д.* Горячая объемная штамповка. - М.: Высшая школа, 1982. 270 с.

[10]. *Экономическое обоснование технических решений на машиностроительных предприятиях.* /Под редакцией С.Г. Пуртова, С.В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 2009. 240 с.

Букреева Наталья Григорьевна – студент КФ МГТУ им. Баумана.
E-mail: tacha.bukreeva.98@mail.com

ВЫБОР МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ «КРЫШКИ ПОДШИПНИКА»

Необходимость экономии материалов приводит к тому, что нужно тщательно выбирать способ получения заготовки. Это означает выбрать лучший технологический процесс получения заготовки, учитывая материал, точность, технические условия и серийный выпуск детали особенно в условиях автоматизированного производства.

Получение заготовок литьем в кокиль. Сущность литья в кокиль состоит в использовании металлических форм (кокилей), которые заполняют расплавом под действием гравитационных сил. Кокиль можно использовать неоднократно.

Рабочую поверхность кокиля и металлических стержней покрывают краской, для предохранения поверхности кокиля от расплавленного металла, что способствует увеличению срока службы кокиля и регулирования скорости охлаждения отливки. Перед началом литья, чтобы предотвратить растрескивание формы, кокиль нагревают до температуры 200-250 °С газовыми горелками.

Внутреннюю поверхность кокиля покрывают краской либо огнеупорной облицовкой. Покрывают для регулирования количества тепла, передаваемого за единицу времени.

На автоматизированном оборудовании, допустимы отливки из алюминия, но масса отливки не должна превышать 12 килограмм. На неавтоматизированном оборудовании можно отливать заготовки из чугуна, если масса отливки не превышает 12 тонн. Литье в кокиль применяют практически в любой промышленности, так как литьем в кокиль можно получить отливки самых различных конфигураций.

При литье в кокиль улучшается качество полученной отливки, за счет использования металлической формы. Повышение производительности, за счет отсутствия трудоемких операций. Однако существуют и минусы: высокая стоимость кокиля; ограничение стойкости кокиля, которая определяется количеством качественных отливок. В итоге литье в кокиль целесообразно применять в серийном и массовом производстве.

Литье в песчаные формы. Выбирая литье в песчаные формы нужно понимать, что отливки получатся низкого качества (14 квалитет), поэтому те поверхности, которые будут контактировать с другими деталями, должны быть подвержены механической обработке. Это объясняется тем, что при заливке расплавленного металла в песчаную форму, могут попадать примеси. Литьем в песчаную форму получают отливки весом до сотен тонн.

Формовочная смесь состоит из 80-90% песка и 8-12% глины, а также др. компонентов. Увлажняют водой и засыпают в опоку, после устанавливают половину модели и засыпают смесью. Трамбуют на вибропрессах, далее из-

влекают модель и получают одну полуформу, аналогично получают и вторую полуформу. В верхней полуформе делают литниковую систему, устанавливают стержень и производят сборку полуформ, скрепляя в центре штифтами. После заливки металла и затвердевания отливки, форму разрушают и извлекают отливку. Далее производят отрезку литниковой системы.

Достоинством литья в песчаные формы является то, что можно получить отливку любой формы и массы, а также низкая стоимость. А к недостатком относится высокая шероховатость и низкое качество получаемых отливок (14-16 квалитет).

Литье по выплавляемым моделям. Сущность этого литья в использовании точных одноразовых керамических оболочек. Керамическая оболочковая должна отвечать следующим требованиям: обладать высокой прочностью; быть огнеупорной; не должна деформироваться при заливке, затвердевании. Керамическая оболочка будет иметь высокой прочностью и огнестойкость, хорошую податливость, обеспечивающую высокое качество поверхности отливок. Оболочка общей толщиной 5-6 мм состоит из 3-8 последовательных слоев. Для формирования каждого из этих слоев модель окунают в жидкую суспензию, после обсыпают кварцевым песком и дают высохнуть. Суспензия состоит из связующего раствора этилсиликата, содержащего 40-50% оксида кремния и 30% пылевидного кварца. Сушка может быть ускорена с помощью паров аммиака. При этом одновременно улучшается качество всех оболочек. Окончательное упрочнение оболочек будет при закалке.

Выплавление моделей из керамических форм производится различными способами: легкоплавкие удаляются горячей водой, а тугоплавкие - горячим воздухом или паром. Эффективен метод удаления моделей в высококипящих жидкостях. Это не только значительно сокращает время плавления, но и улучшает качество оболочек. Температура форм перед заливкой зависит от материала и толщины стенок отливки. Обычно перед заливкой расплава формы нагревают относительно невысоких температур.

Формовку оболочек осуществляется для упрочнения, чтобы не было их деформации и разрушения при заливке металла. Для этого оболочку закрепляют в опоку и засыпают ее песком, утрамбовывая и уплотняя их на вибростолах.

Прокаливание форм оболочки проводят при температуре от 900 до 1000 °С для очистки от остатков модельных составов газообразных веществ из материала оболочки, что завершает процесс затвердевания оболочки. Дополнительно, нагревание оболочки улучшает процесс заполнения формы при заливке

Литьем по выплавляемым моделям можно получить отливки любой конфигурации из любых сплавов с высокой точностью. Механическая обработка при применении этого метода литья сокращается или вовсе не нужна. Технологический процесс является долгим и сложным, требующий дорогостоящих материалов. К примеру, стоимость 1 тонны отливок будет в несколько раз дороже, чем любым другим способом литья. В основном этот ме-

тод литья применяют в массовом производстве для получения мелких и тонкостенных отливок небольших размеров.

Список литературы

[1]. *Никитин В.И.* Специальные способы литья: учебное пособие / В.И. Никитин. — Самара: АСИ СамГТУ, [б. г.]. — Часть 1 — 2018. — 140 с.

[2]. *Кузнецов В.Г.* Технология литья: учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин, Г.С. Дьяконов. — Казань: КНИТУ, 2012. — 148 с.

[3]. *Кузнецов В.Г.* Технология литья: учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин, Г.С. Дьяконов. — Казань: КНИТУ, 2012. — 148 с.

[4]. *Сироткин С.А.* Технология литейного производства. Технология литья в песчаные формы: учебно-методическое пособие / С.А. Сироткин, В.А. Горбунов. — Москва: МИСИС, 2019. — 96 с.

[5]. *Гини Э.Ч.* Специальные технологии литья: учебное пособие / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. — Москва: МГТУ им. Баумана, 2010. — 367 с.

[6]. *Сизова Е.И.* Технологические процессы производства заготовок: учебное пособие / Е.И. Сизова. — Москва : МИСИС, 2019 — Часть 1: Получение заготовок литьем и ковкой на молотах — 2019. — 144 с. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116927>

[7]. *Перевертов В.П.* Технологии конструкционных материалов: учебное пособие / В.П. Перевертов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Самара: СамГУПС, [б. г.]. — Часть 2: Литейная и порошковая технологии. Лазерные технологии обработки материалов резанием — 2018. — 192 с. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130452>

Хакимов Бобуржон Шухратжон Угли – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: corsten0997@yandex.ru

ВЫБОР МЕТОДА ОБРАБОТКИ ГЛУХИХ ПАЗОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ВРАЩЕНИЯ

Глухой паз – это паз не имеющий выход на торец детали [1]. На Рис.1 представлены виды пазов.

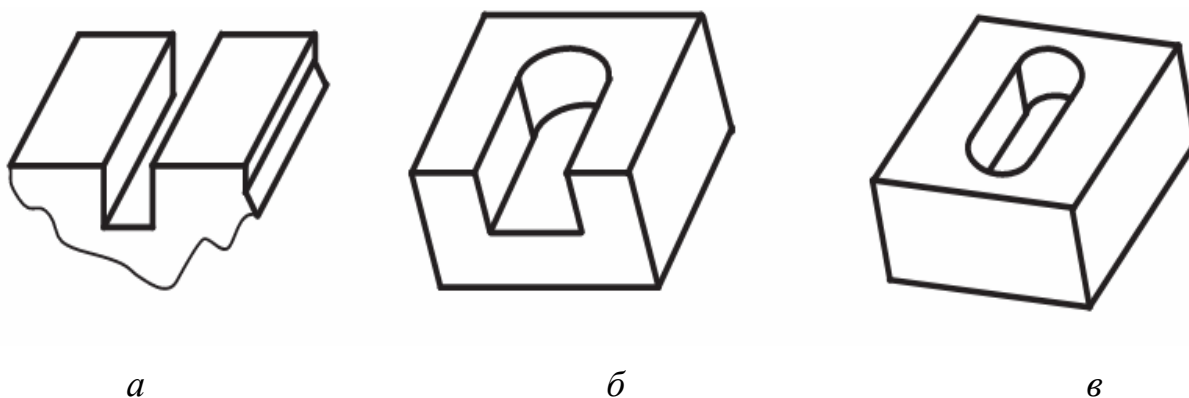


Рис. 1. Виды пазов:

а – сквозной паз; *б* – глухой с одной стороны паз; *в* – глухой паз

В основном для получения пазов используются универсально-фрезерные, шпоночно-фрезерные, вертикально-фрезерные, токарно-фрезерные станки. Преимуществом обработки на токарно-фрезерных станках является возможность совмещения токарной и фрезерной операции.

В настоящее время существует множество способов обработки поверхностей типа глухой паз. Обработку выполняют фрезерованием, строганием, и многими другими способами. Одним из самых широко используемых и высокопроизводительных способов обработки пазов является фрезерование [2].

Фрезерование пазов чаще всего производят концевыми фрезами. Концевые фрезы применяются для обработки пазов в различных заготовках, контурных выемок, уступов, взаимно перпендикулярных плоскостей. У этих фрез основную работу резания выполняют главные режущие кромки, расположенные на цилиндрической поверхности, а вспомогательные торцовые режущие кромки только зачищают дно канавки [3]. На Рис. 2 представлены схематичные примеры обработки пазов.

Эти операции требуют отдельных указаний в дополнение к общим рекомендациям по фрезерованию плоскостей и канавок. Направление сил резания и отжим инструмента при фрезеровании закрытого шпоночного паза не позволяют получить точного прямоугольного сечения. Точность обработки может быть повышена, если использовать фрезу несколько меньшего диаметра и обрабатывать паз за два прохода.

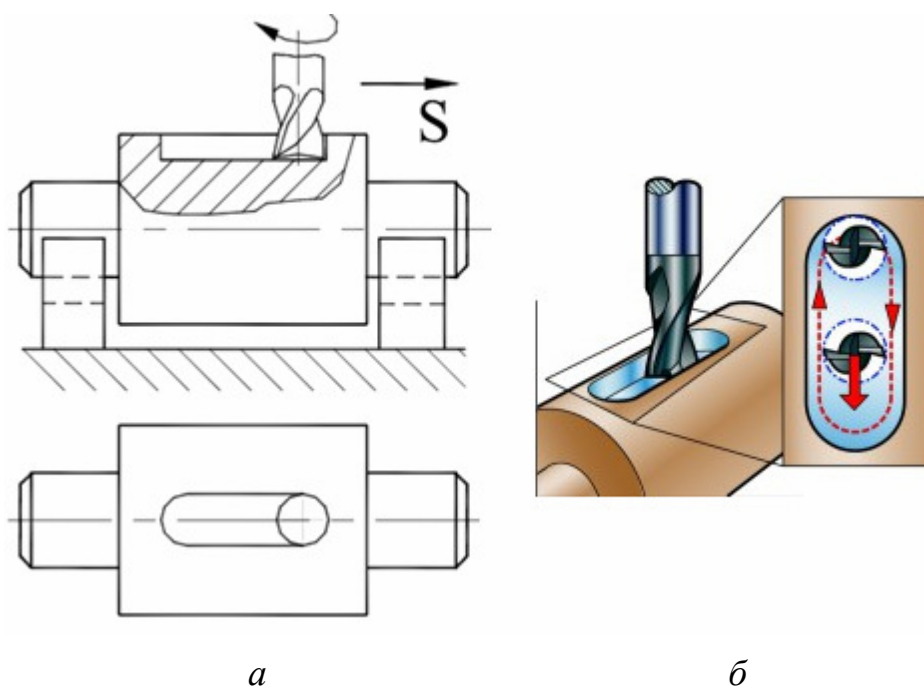


Рис. 2. Примеры схем обработки пазов: *а* – черновое фрезерование на полную ширину паза; *б* – фрезерование паза за 2 прохода

Данные методы не являются единственными для обработки глухих пазов на цилиндрических деталях. На сегодняшний день существует множество способов получения глухих пазов. Анализ и сравнение которых, для выявления наиболее подходящих для разных задач, приведён в основной научно-исследовательской работе.

Список литературы

[1]. Кугультинов С.Д. Технология обработки конструкционных материалов : учебное пособие / С. Д. Кугультинов, А. К. Ковальчук, И. И. Портнов. — 3-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2010. — 678 с. — ISBN 978-5-7038-3408-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106423> (дата обращения: 04.04.2020).

[2]. Сборник задач по курсу «Технология конструкционных материалов» : учебное пособие / под редакцией В. П. Ступникова, В. Д. Винокурова. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 174 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/52250> (дата обращения: 04.04.2020).

[3]. Зубарев Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник / Ю. М. Зубарев, Р. Н. Битюков. — С.-Пб. : Лань, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-4012-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126717> (дата обращения: 04.04.2020).

Даниил Эдуардович Мартынов – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: Danyuchius@yandex.ru

ВЫБОР МЕТОДА ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Выбор метода обработки зубчатых колес напрямую зависит от установленной нормы точности их различных элементов, а также от основных требований к трансмиссиям при их эксплуатации. Механизмы можно разделить на группы:

- 1) Силовые передачи больших мощностей и высоких скоростей;
- 2) Основным требованием является обеспечение высокой эффективности;
- 3) Силовые промышленные и транспортные передачи на средних скоростях;
- 4) Требования - надежность и плавность хода;
- 5) Силовые передачи в станкостроении;
- 6) Требования - постоянное передаточное число и плавность хода;
- 7) Трансферты в автомобильной промышленности; Требования - плавный и легкий ход, без шума;
- 8) Кинематические передачи в точных приборах; Требования - обеспечение постоянных передаточных чисел (нет мертвого хода).

Установленные ГОСТом степени точности принимают эти условия, допуская высокие технические нормы в одном направлении и низкие в другом.

Зубчатые колеса обрабатываются на разных станках. Зубья на колесах режутся двумя способами: копирование (рис. 206, а, б) и прокатка (изгиб; рис. 206, в). При копировании режущий инструмент имеет форму полости между зубами и затем обрабатывается. Обратите внимание, что профиль инструмента копируется на обработанную поверхность.

Зубонарезание способом обкатки. Цель этого способа состоит в том, что режущий инструмент и заготовка колеса наделяются такими взаимосвязанными движениями, которые обеспечивают желаемый профиль зуба. Движение подачи дополнительно сообщается инструменту во время обработки. Включение зубчатой пары воспроизводится. Требование высокой точности и плавного зацепления зубчатых колес было выдвинуто для создания специальных зуборезных станков. Производительность зубчатой резки увеличилась. Наиболее распространенными являются станки, формирующие профиль зуба путем фрезерования или резки режущих кромок инструмента в процессе непрерывной прокатки. При обработке долбяком получается более правильный профиль, чем при фрезеровании, так как в этом случае неточности инструмента гораздо меньше отражаются на профиле зуба, но воздействия, вызванные механической обработкой, отрицательно влияют на станок и инструмент.

Как следствие, метод фрезерования в основном используется для отделки зубов; Метод фрезерования с двух- или трехсторонней фрезерной обработкой как наиболее эффективный, используется для черновой резки, фре-

зерный с одной - с вводными фрезами, используемыми для чистовой обработки. С помощью фрезерования можно обрезать больше типов зацепления, например, прямые и наклонные зубчатые колеса, червячные передачи, червяки, цепные колеса. Это основной метод резки колес.

Зубонарезание методом копирования. Процесс обработки выполнен в том, что режущий инструмент режет канавки зубчатого колеса последовательно или одновременно, а профиль инструмента точно соответствует контуру этих канавок.

Резка зубчатых колес возможна на специальных станках, на некоторых моделях универсальных станков с одним механизмом разделения, а иногда и на фрезерных станках с помощью разделительной резки.

Нарезание цилиндрических зубчатых колес дисковыми резцами. Конструкция цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями может быть выполнена на горизонтальных и универсальных фрезерных станках с приводом от делительной головки модульными дисковыми резцами.

Профиль резьбы каждого номера соответствует профилю углубления колеса, имеющему наименьшее количество зубьев для этого диапазона. Остальные колеса этого диапазона будут вырезаны с такой фрезой с некоторыми ошибками. Чем больше резец в наборе, тем точнее будут отрезаться колеса. Чаще всего используется набор из 8 штук, обработка которых позволяет получить шестерни 9-й степени точности, но для более точных колес выбраны комплекты из 15 и 26 шт.

Список литературы

- [1]. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 2011. – 591 с.
- [2]. Калашиников С.Н., Калашиников А.С. Зубчатые колеса и их изготовление, М.: Машиностроение, 2013 г. – 264 с.
- [3]. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2010. 387 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.
- [4]. Калашиников А.С. «Зубчатые колеса и их изготовление» М.: Машиностроение, 2012 г. – 464 с.
- [5]. Маталин А.А. «Технология машиностроения» 2011. – 469 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.
- [6]. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] / А. Г. Косилова [и др.]. - Машиностроение, 2007. – 496 с.
- [7]. Кузнецов В.Г. Технологии зубонарезания : учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин, Г.С. Дьяконов. — Казань : КНИТУ, 2012. — 148 с.
- [8]. Гини Э.Ч. Обработка зубчатых колес : учебное пособие / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2010. — 367 с.
- [9]. Мнацаканян В.У. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / В.У. Мнацаканян. — Москва : МИСИС, 2018. — 221 с.

[10]. *Сизова Е.И.* Технологические процессы производства заготовок : учебное пособие / Е.И. Сизова. — Москва : МИСИС, 2019 — Часть 1 — 2019. — 144 с. Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/178345>.

Звягинцев Максим Алексеевич – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zvyaginsev_98@mail.ru

ВЫБОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ НАРУЖНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

На сегодняшний день шлицевые поверхности широко используются в машиностроении. Они предназначены для передачи большого крутящего момента. Форма шлиц бывает прямоугольная, эвольвентная и треугольная. Получение шлицев возможно такими методами как шлицефрезерование, шлицестрогание, шлицепротягивание, шлиценакатывание. Каждый метод по своему уникален и имеет свои особенности [6]. Рассмотрим некоторые из них:

1. Фрезерование шлицев осуществляется двумя методами:
 - а) фрезерованием по методу обкатки специальными червячными фрезами;
 - б) фрезерованием дисковыми или фасонными фрезами.

При первом методе используются шлицефрезерные или зубофрезерные станки. Фрезерование осуществляется червячной фрезой, имеющая профиль, соответствующий профилю шлицевой поверхности, получаемой при обкатке (рис.1). Таким методом можно получать как шлицы прямобочного профиля, так и эвольвентного [8].

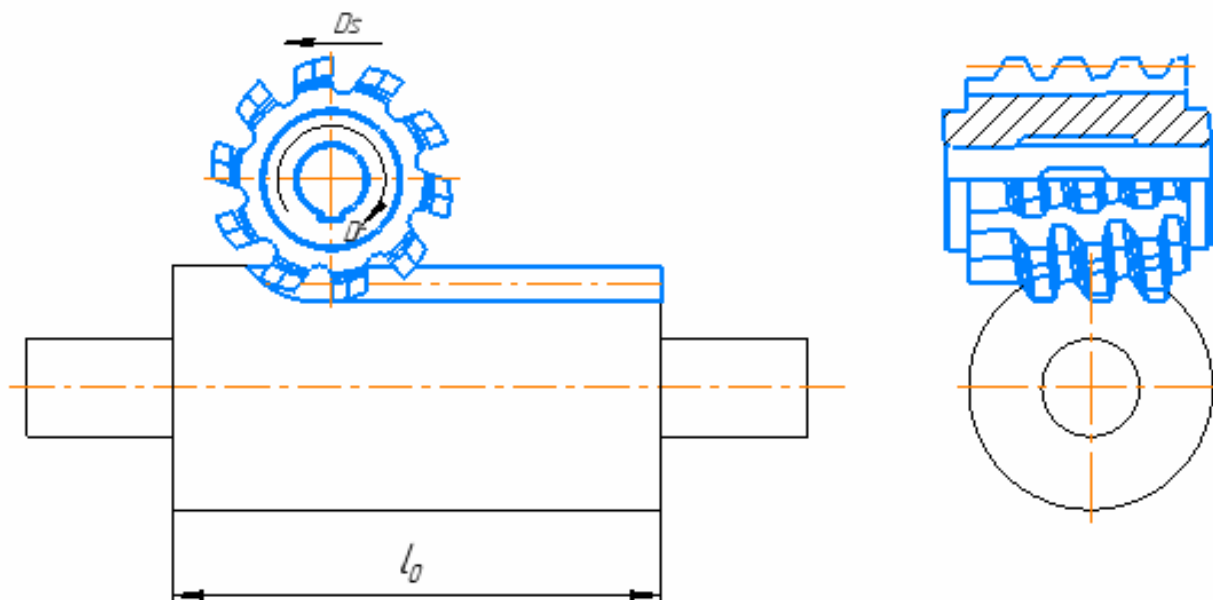


Рис.1. Схема фрезерования шлицевого вала червячно-шлицевой фрезой

Режимы резания при этом низкие ($v=20\div30$ М/мин и $S=20$ мм/мин). Согласно этому метод является довольно трудоемким, но в свою очередь считается одним из точных и одним из самых производительных [1].

Во втором же методе фрезерование уже рекомендуется осуществлять на горизонтально-фрезерных станках с использованием делительной головки.

Инструментом является фасонная дисковая фреза (рис.2). Из-за сложности изготовления инструмента данный способ применяется реже.

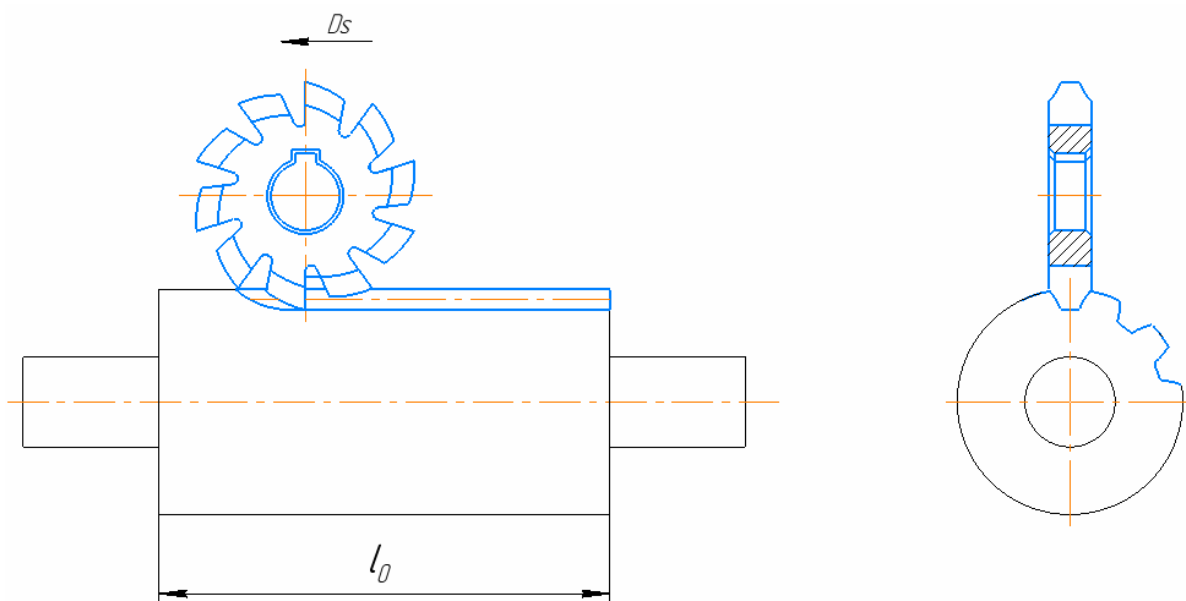


Рис.2. Схемы фрезерования шлицев

Также используют более дешевые фрезы, но производительность при этом ухудшается. Для того чтобы повысить производительность можно фрезеровать одновременно двумя – тремя фрезами, обрабатывая при этом два – три шлицевых вала. Но такой способ не позволяет достичь необходимой точности по шагу и ширине шлицев [7].

2. Шлицестрогание в последнее время заменяет шлицефрезерование, т.к. обладает более лучшими качествами обработки.

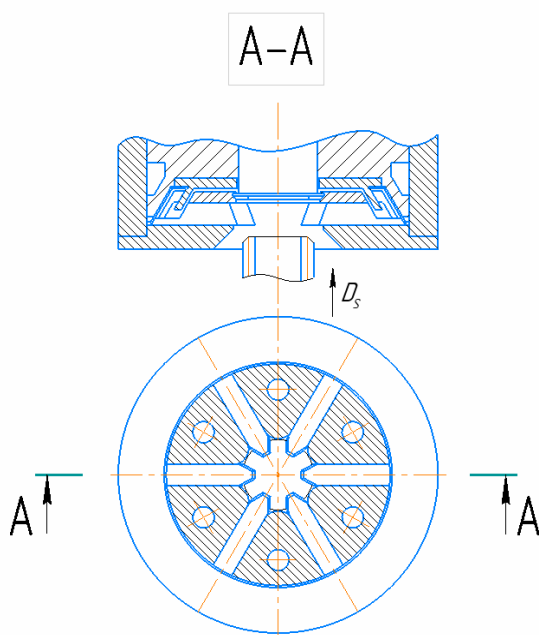


Рис.3. Резцовая головка шлицестрогального станка

Оно применяется для сквозных шлицев или для шлицев у которых пре-

дусмотрен выход в виде канавки для выхода резцов. Обработка осуществляется многорезцовой головкой, состоящей из набора фасонных резцов, соответствующих профилю шлицев. Количество резцов зависит от количества шлицев (рис.3).

Обработка осуществляется за счет движения заготовки снизу вверх, а резцы при этом подают на радиальную подачу. Процесс является высокопроизводительным, при этом достигаемая точность $Ra\ 0,8 \dots 3,2$ мкм.

3. Шлицепротягивание производят на специальных шлицепротяжных станках. Обработка происходит цепной протяжкой с профилем, идентичным профилю шлицев. Сами углубления протягивают отдельно, но для автоматизации процесса используют делительное устройство, чтобы обработать все пазы одновременно (рис.4).

Этим методом также можно получать как сквозные, так и глухие шлицы, имеющие выход под инструмент [4].

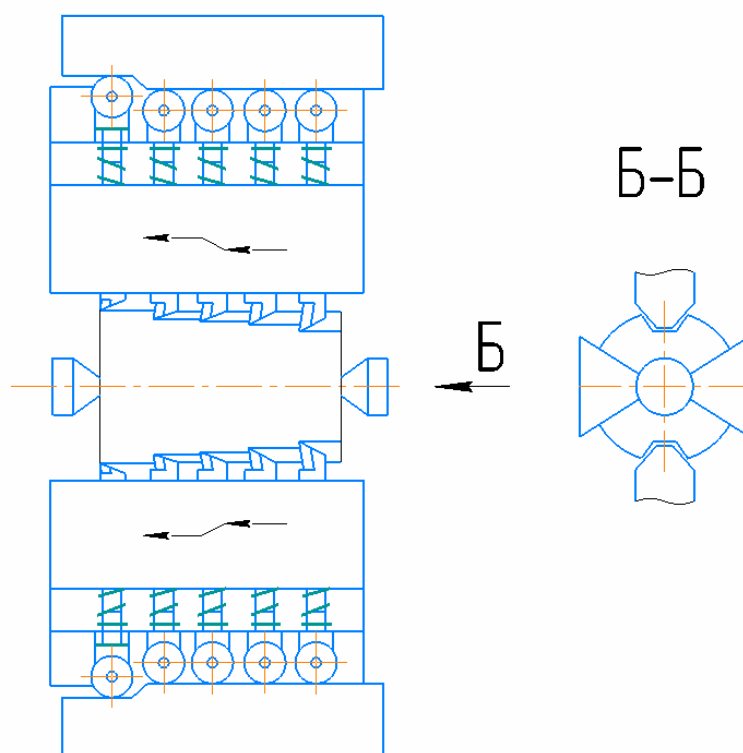


Рис.4. Схема протягивания шлицев на валах

По сравнению со шлицефрезерованием протягивание эффективнее в 5 – 8 раз, но требуется дорогой сложный инструмент. Обеспечиваемая шероховатость при этом $Ra\ 0,8 \dots 1,6$.

4. Шлиценакатывание применяется для получения эвольвентных шлицев с модулем до 2,5 мм. Инструментом является накатная головка, в которой установлены накатные ролики, в количестве от двух до трех. Все шлицы накатывают одновременно (рис.5). При многих обстоятельствах холодное накатывание позволяет пренебречь термической обработкой и в дальнейшем механической [2].

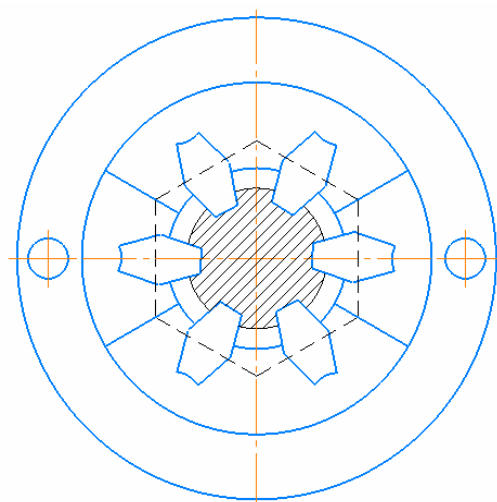


Рис.5. Схемы накатывания шлицев

Профиль шлицевой поверхности образовывается за два и более рабочих хода. Накатка упрочняет поверхностные слои детали на 20 – 30%. Таким путем можно получить шероховатость $Ra\ 0,32\dots 0,63$, имея при этом высокую производительность, но каждая многороликовая головка изготавливается под каждый профиль и размеры шлицев [5].

Исходя из рассмотренных методов получения шлицевых поверхностей, можно сделать вывод, что технологический процесс изготовления шлицев зависит от того, какой принят способ центрирования, необходимой шероховатости поверхности и типа производства. К тому же наиболее встречающимся методом получения шлицев является фрезерование. Применение остальных методов имеет еще мало опыта, но они весь эффективны и являются развивающимися.

Список литературы

[1]. *Алпатов Ю.Н.* Математическое моделирование производственных процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.Н. Алпатов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 136 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107271>. (дата обращения 02.03.2020)

[2]. *Моделирование систем и процессов* [Электронный ресурс]: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова [и др.] ; под редакцией В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 450 с. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/436458>. (дата обращения 02.03.2020)

[4]. *Справочник технолога-машиностроителя* / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 665 с.

[5]. *Справочник технолога-машиностроителя* / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 2. — 496 с.

[6]. *Мороз В.Г.* Шлицевые соединения [Электронный ресурс] / В.Г. Мороз. — Электрон. дан. — Москва : Московский Политех, 2011. — 88 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51762>. (дата обращения 02.03.2020)

[7]. Шлицевые соединения // Машиностроение / Г.И.Скундин, В.Н. Никитин. – М.: 1981.-128с.

[8]. Фрезерное дело / Барбашов Ф.А. – М.: Высшая школа, 1973.-280с.

[9]. [Электронный ресурс] https://studopedia.ru/13_40597_ (дата обращения 02.03.2020)

Марочкин Владислав Вадимович – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marochkin_vlad@mail.ru

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Плазменная резка получила очень широкое применение во многих отраслях промышленности, поскольку позволяет производить обработку практически всех сталей и сплавов, алюминия и других токопроводящих материалов с достаточно высоким качеством и высокой скоростью. Сущность плазменной резки заключается в том, что под действием мощного энерговыделения в обжатой дуге металл плавится в узкой области, а интенсивный поток плазмообразующего газа выдувает его из зоны реза.

В зависимости от того, какой материал требуется разрезать, какова толщина этого материала делается выбор плазменного резака. В стандартных машинах плазменной резки резак относительно прост, его конструкцией предусматривается использование только одного вида газа – режущего газа. В качестве режущих газов обычно применяют азот, кислород или смесь аргона с водородом. Плазменная дуга обжимается только по внутреннему диаметру сопла, поверхности реза, характерные для этого метода, имеют скос. Обычно плазменный газ проходит вокруг электрода, касаясь его. В зависимости от скорости резки, охлаждение резака производится либо воздухом, либо водой. Такое оборудование способно резать металл толщиной до 160 мм.

Плазменная резка с использованием воды в качестве вторичного экрана – это ещё один вариант плазменной резки с вторичной средой. Водяной экран выпускается струей, разрывающейся плазменной дугой. Благодаря восстановительному действию водорода, выделяющегося в ходе данного процесса, получаемая поверхность приобретает металлический блеск. Таким образом, плазменная резка с использованием водяного экрана является предпочтительным методом при работе с алюминием и высоколегированными сталями толщиной до 50 мм.

Подача вторичного газа вокруг плазменной дуги позволяет добиться ещё большего её обжатия и создания вокруг неё особой атмосферы. Благодаря этому повышается плотность энергии, качество реза и скорость резки. Если установить экранирующий колпачок определённым образом, то можно исключить возможность повреждения системы коротким замыканием и двойной дугой и, тем самым, продлить срок службы расходных деталей. Обычно такую защитную среду называют также «вторичный газ», «экранирующий газ». Оборудование, в которых применяется данный способ, способно резать листовую металл толщиной до 75 мм.

При использовании резака с впрыскиванием воды плазменная дуга подвергается дальнейшему обжатию. Испаряется только незначительная часть воды. Остальное количество воды охлаждает сопло и изделие. Охлаждение изделия водой, а также высокая скорость резки обеспечивает отсутствие поводов при резке, малое количество грата и продлевает срок службы расход-

ных деталей. При использовании резака с впрыскиванием воды важно производить резку изделия таким образом, чтобы сторона со скошенной кромкой находилась там, где материал имеет заостренную форму. Таким оборудованием можно резать листовый металл толщиной от 3 до 75 мм.

Оборудование для плазменной резки постоянно улучшается. Основная цель, которая ставится при проработке усовершенствований, состоит в уменьшении загрязнения окружающей среды, повышении производительности резки и в улучшении качества кромки реза. Конечной целью является создание двух плоскопараллельных ровно обрезанных поверхностей, которые перед передачей их на следующий этап технологической цепочки требуют минимальной окончательной обработки, либо вовсе в ней не нуждаются.

Список литературы

[1] *Закалюкина Л.А., Баннов В.Я.* Виды и параметры процесса плазменной резки. ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет». Новые информационные технологии в автоматизированных системах – 2016. (<https://e.lanbook.com>)

[2] *Рахимьянов А.Х., Локтионов А.А., Никитин Ю.В.* Оценка геометрической точности реза листовых материалов при различных технологиях тонкоструйной плазменной резки // *Обработка металлов.* 2013. № 3. С. 25.

[3] *Гаар Н.П., Локтионов А.А.* Предотвращение дефектов реза за счет оптимизации траектории при тонкоструйной плазменной резке // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* 2018. № 2. С. 70.

[4] *Чередниченко В.С., Анынаков А.С., Кузьмин М.Г.* Плазменные электротехнологические установки. Учебное пособие для вузов. М., Metallurgia, 2011г.

[5] *Рыбаков В.М.* Сварка и резка металлов - Москва: Высшая школа, 1979 - с.214

Попов Вячеслав Олегович – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sava0903@yandex.ru

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТУПЕНЧАТЫХ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ступенчатые отверстия в корпусных деталях являются, наряду с опорными поверхностями (опорные лапы, привалочные плоскости и другие), базовыми поверхностями.

К таким поверхностям предъявляются высокие требования по точности расположения, точности размеров, геометрии поверхности. Вместе с тем, учитывая большое количество и большую протяженность этих поверхностей, необходимо обеспечить минимальное машинное время их обработки, чтобы цикл производства не увеличивался. В особенности это важно в условиях массового и крупносерийного производства.

В настоящее время существует большое число методов и инструментов для обработки ступенчатых отверстий, каждый из которых имеет свою область применения в зависимости от типа производства и оборудования, на котором выполняется обработка.

Оптимизация числа холостых ходов. Основное время обработки можно представить в следующем виде:

$$t_{осн.} = t_0 + t_{всп.},$$

где t_0 - машинное время (то есть время, непосредственно затрачиваемое на резание), $t_{всп.}$ - вспомогательное время (время, связанное с выполнением вспомогательных переходов).

Временем, связанным со вспомогательными переходами, можно считать время, затрачиваемое на холостые перемещения инструмента от одной обрабатываемой поверхности к другой. Согласно ряду статистических данных [2, 3], время на холостые перемещения может в несколько раз превышать время, затрачиваемое на резание. Исходя из этого, особый интерес представляет собой снижение именно времени на холостые перемещения инструмента.

Снижение времени, затрачиваемого на холостые ходы, может быть получено следующими способами:

1. Увеличением подач при холостых ходах.
2. Использованием комбинированного инструмента для обработки нескольких поверхностей сразу.
3. Выбором оптимальной последовательности холостых перемещений.

Наибольший интерес представляет именно третий вариант, т.к. он дает возможность уменьшить время, затрачиваемое на холостые ходы, без увеличения нагрузки на элементы станка и инструмент.

На рис. 1 приведена схема ступенчатого отверстия, которое необходимо обработать.

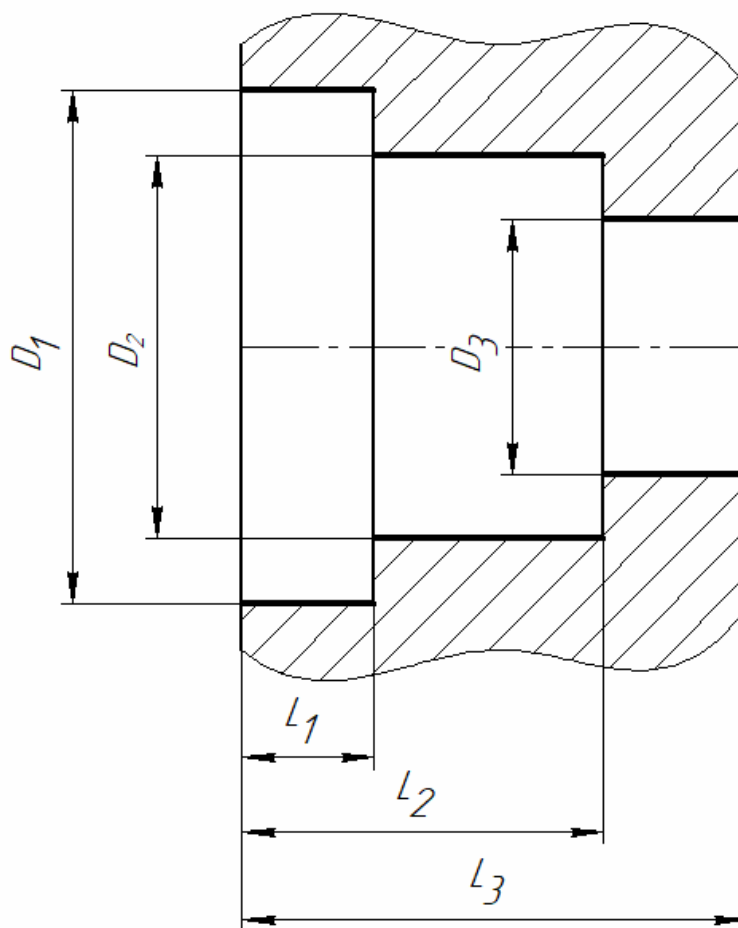


Рис. 1. Схема типового ступенчатого отверстия, подлежащего обработке на станке с ЧПУ

Более рациональным методом поиска оптимальной последовательности обработки может являться метод с использованием ориентированных графов.

Вершины графа назовем состояниями обработки, т.е. отверстиями, которые будут обработаны при переходе к ним по ребрам графа. На рис. 2 они обозначаются D_i . Начальное состояние, при котором ни одно из отверстий еще не обработано, на графе обозначено вершиной «0». Конечное состояние, при котором все отверстия обработаны, обозначено вершиной «4» на графе.

Ребра графа – величины холостых перемещений, который соединяют вершины (обрабатываемые отверстия).

На рис. 4 показан наиболее «легкий» и «тяжелый» маршрут на графе

Красной линией показан самый длительный маршрут, при котором протяженность холостых ходов наибольшая, зеленой – обход с самыми короткими холостыми ходами.

На основании проведенного анализа графа можно сделать вывод о том, что наиболее выигрышной с точки зрения экономии времени является последовательность, при которой обработка идет от отверстия с наибольшим диаметром к отверстию с наименьшим диаметром. Противоположное направление обхода дает самое большое время холостых перемещений инструмента.

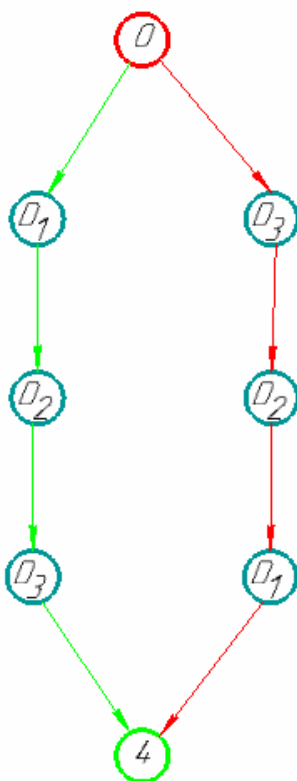


Рис. 4. Наиболее и наименее трудозатратные пути обхода графа

Список литературы

[1]. *Технология машиностроения*. В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.

[2]. *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для студ.высш. учеб.заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с.

[3]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[4]. *Блюменштейн В.Ю., Клецов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

[5]. *Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б.* Проектирование технологической оснастки в машиностроении. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2013. 304 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.

[6]. *ГОСТ 14.205-83.* ЕСТПП. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения.

[7]. *ГОСТ 3.1404-86.* ЕСТД. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием.

[8]. *ГОСТ 3.1702-79.* ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием.

Молоканов Игорь Юрьевич – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им.
Н.Э. Баумана. E-mail: A.45.45@yandex.ru

ВЫБОР ЦАНГОВЫХ ЗАЖИМОВ ДЛЯ КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Для закрепления заготовок в процессе обработки используют цанговые зажимные механизмы, которые широко используются в машиностроении и автоматостроении. Эти цанговые зажимы служат для удержания заготовок, более того, процесс закрепления очень прост и требует лишь поступательное движение от зажимной цанги.

Цанговые механизмы позволяют закреплять детали диаметром от 0.5мм вплоть до 100мм на многошпиндельных токарных автоматах. Одним из очевидных плюсов использования является их быстродействие, например в многошпиндельном автомате модели 1261М – время закрепления заготовки составляет 0.16 сек.

Наиболее частой поломкой в цанговых механизмах является выход из строя самой зажимной цанги, но в то же время надежность цангового механизма принято считать нормальной, если она может закрепить не менее 100 тыс. заготовок.

В настоящий момент существует и используют в основном 3 вида цанг, а именно:

1. Цанги с прямым конусом (I тип).
2. Цанги с обратным конусом (II тип).
3. Цанги с базированием по корпусу (III тип).

Классификация цанговых зажимов и типы применяемых цанг

Цанги с прямым конусом, которые довольно просты в конструкции и удобны для демонтажных работ, используются не так часто из-за гайки с конической ласточкой. Ограниченное применение этих цанговых зажимов вызвано также несопадением направлений действующего усилия зажима и осевой составляющей силы резания. Именно этот нюанс может привести к раскрытию цанги во время обработки детали. В данном типе цанговых зажимов центрирование цанги в шпинделе плохое из-за гайки, в которую центрируется головка цанги, и именно положение этой гайки малоустойчиво из-за наличия резьбы в ней.

В цангах с обратным конусом вышеперечисленные проблемы отсутствуют, так направление в данном виде цанг изменено. Поэтому, цанги этого типа используются чаще и больше распространены. Но у них все так же есть и недостаток, касающийся повреждения резьбового соединения между тяговой трубой и хвостовиком цанги.

Цанги с базированием по корпусу были сконструированы именно для устранения неполадок, присутствующих в цангах с обратным корпусом. В цангах этого типа зажим производится путем осевого перемещения втулки. Недостатком этого типа цанг является возрастание объемов целого зажимного узла по диаметру. Следовательно, цанги III типа используют в одношпин-

дельных автоматах, в то время как в многошпиндельных используют цанги II типа.

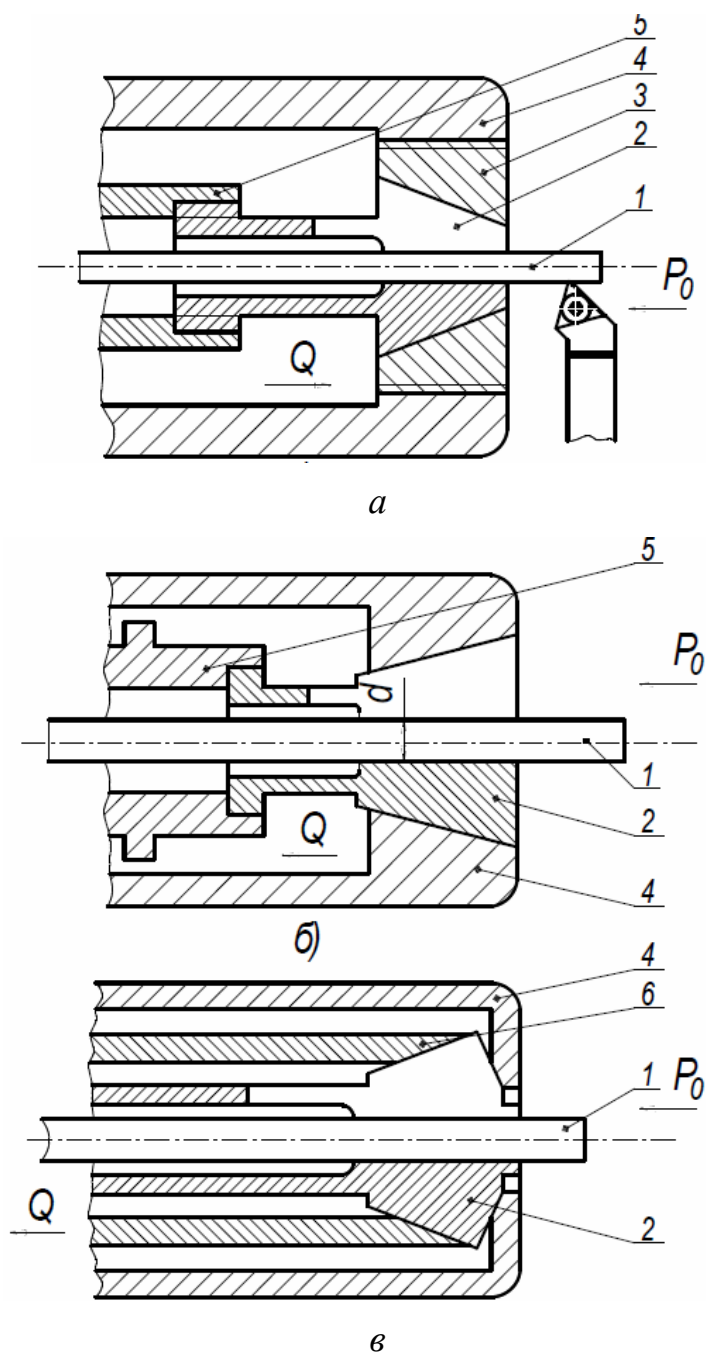


Рис. 1. Типы применяемых цанг:

1 - пруток; 2- цанга; 3 - гайка с коническим отверстием; 4 - шпиндель;
 5 - тяговая труба; 6 - втулка с конической расточкой.

Проектирование цанговых зажимов и рациональными параметрами

Главным элементом цангового зажимного устройства является цанга, поэтому при проектировании цанг устанавливаются такие параметры как:

1. число лепестков цанги;
2. угол конуса цанга в угловой зазор;
3. диаметр отверстия цанги;

- 4.длину губки цепи,
- 5.длину лепестка,
- 6.форму окон к шлицев,
7. вид насечки па губках цанги;
8. величину разводки лепестков.

Именно число лепестков цанги в большей степени влияет на точность центрирования прутков и усилие, которое требуется для деформации лепестков. Чем больше лепестков, тем меньше требуется усилия для деформации. В настоящий момент наиболее широкое распространение получили 3-х и 5-ти лепестковые зажимные цанги.

Величина углов конических головок у цанг также бывает различна. Маленькие углы соответствуют более точному центрированию и позволяют выгоднее применять осевую силу на цанге для закрепления в ней заготовки.

С увеличением угла – увеличивается осевое перемещение, что приводит к повышению времени срабатывания данного механизма. Следовательно, в машиностроении выгоднее использовать цанги с меньшими углами.

Важным вопросом в проектировании цанг является угловой зазор, который возникает между поверхностью цанги и коническим сегментом шпинделя. Он оказывает большое влияние на износостойкость цанговых зажимов и радиальное сжатие заготовок.

Длина губка цанги оказывает заметное влияние на жесткость закрепления и на величину колебаний обрабатываемой заготовки. Оптимальная длина губки L_1 , для цанг с интервалом размеров отверстия D от 5 до 20 мм может быть определена, как $L_1=1.5D$, а для других интервалов из табл. 1.

Таблица 1.

Зависимость длины губки от размера отверстия

| Интервал размеров отверстия, мм | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-90 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Размер длины губки цанги, мм | 20 | 31 | 42 | 55 | 75 |

Список литературы

[1] Балакишин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1996. 156с.

[2] Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

[3] Технология машиностроения. В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.

[4] *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для студ.вышш. учеб.заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с

[5] *Экономическое обоснование технических решений на машиностроительных предприятиях.* /Под редакцией С.Г. Пуртова, С.В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 2009. 240 с.

[6] *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[7] *Блюментейн В.Ю., Клепцов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

Самохин Александр Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: labrador1337@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СФЕРИЧЕСКОГО ТИПА НА ЛИНЕЙНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

При установке заготовок неизбежно образуются различного вида погрешности. Под погрешностью установки понимается отклонение фактически достигнутого положения от требуемого в процессе базирования и закрепления. Погрешность установки включает. [1]

- погрешность базирования
- погрешность, вызванную силами закрепления
- погрешность установки

В нашей научной работе нас в большей степени интересует погрешность, вызванная силами закрепления, поэтому разберем ее подробнее.

Под погрешностью, вызванной силами закрепления, понимается разница между максимальным и минимальным перемещением измерительной базы вдоль обеспечиваемого размера под действием силы закрепления.

Наибольшее влияние на точность установки заготовки в приспособлении оказывает упругая деформация ее звеньев, через которые передается сила закрепления. При этом деформации сжатия заготовки и деталей приспособления сравнительно малы, а наибольшую величину имеют перемещения в стыке между заготовкой и установочными элементами. [2]

Зависимость контактных деформаций для стыка: заготовка – опора приспособления выражается нелинейным законом:

$$y=CQn. \quad (1)$$

Данные перемещения зависят от конструктивных параметров установочных элементов, таких как радиус установочных элементов, их материал, твердость, площадь контакта, механические свойства материала заготовки и т.д. Все вышеперечисленные конструктивные параметры влияют на упругие деформации, которые в итоге приводят к изменению положения заготовки.

В справочнике [3] приведены значения коэффициента C только для заготовок из стали и чугуна. Следовательно, необходимо провести исследования для других материалов.

Для определения коэффициентов C и n для заготовок из алюминиевого сплава, устанавливаемых на опоры сферического типа, необходимо выполнить экспериментальные исследования.

Для эксперимента необходимо учесть такие факторы, как радиус установочных элементов, твердость заготовки, сила закрепления.

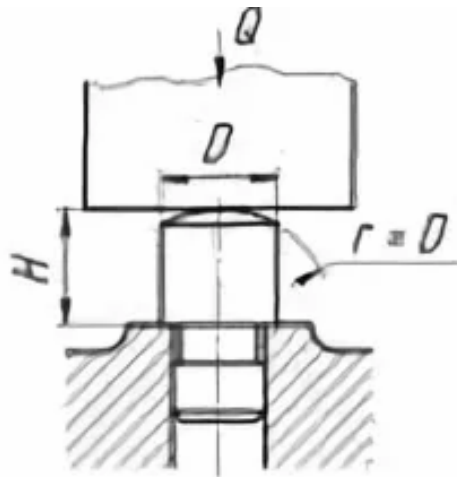


Рис. 1 Схематическое изображение установочного элемента сферического типа

После проведения экспериментов и выполнения регрессионного анализа было получено уравнение регрессии в натуральном масштабе:

$$y = 2,13 - 0,056HRB - 0,043R - 0,0004HRB R \quad (1)$$

При постоянных уровнях факторов, а именно: радиус сферических установочных элементов – 16 мм, и твердости алюминиевой заготовки -16 HRB и постепенном увеличении силы закрепления были получены экспериментальные значения упругой деформации для стыка “заготовка-установочный элемент приспособления”. Используя эти значения, методом аппроксимации было найдено экспериментальное значение коэффициента n . На рисунке 3 показан график аппроксимации экспериментальных значений.

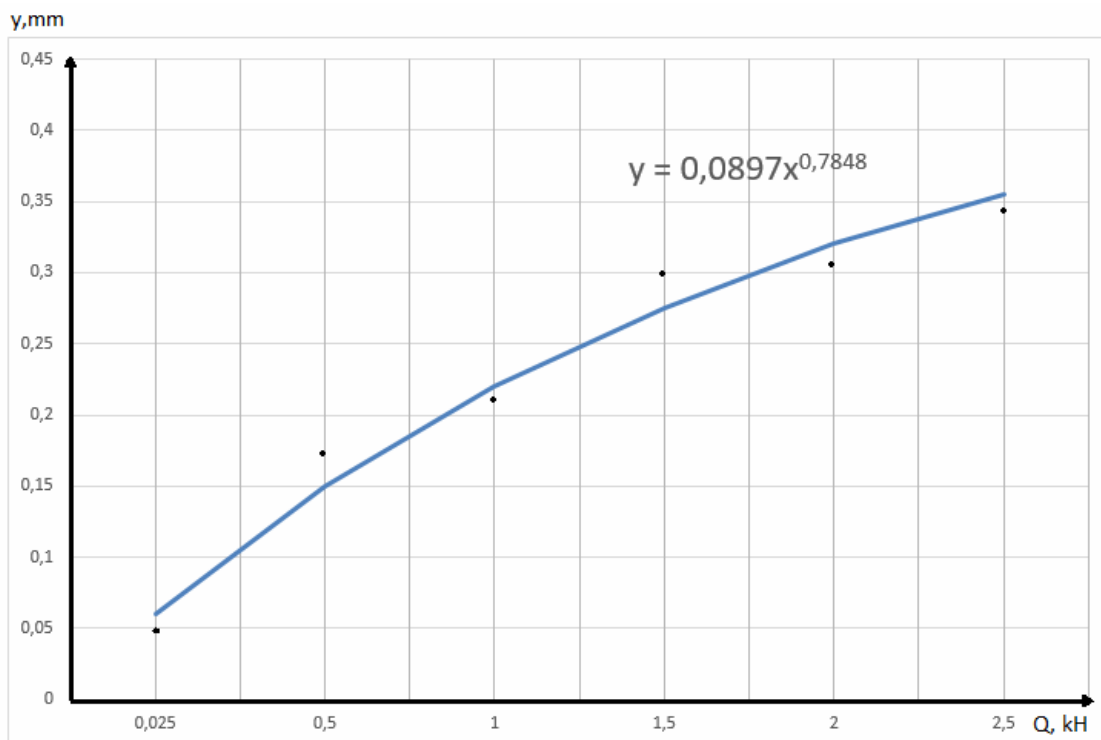


Рис. 3. График аппроксимации экспериментальных значений

Исходя из графика можно сделать вывод, что экспериментальный коэффициент n можно принять равным 0,78 при расчете упругих деформаций в местах контакта алюминиевой заготовки и опор сферического типа

Анализируя уравнение регрессионного анализа видно, что наибольшее влияние на линейное перемещение оказывает радиус сферических установочных элементов, однако, следует иметь в виду, что эмпирические зависимости справедливы в рамках тех условий, которые были реализованы при проведении эксперимента. Поэтому пользоваться ими целесообразно только при весьма приближенной оценке линейных деформаций, возникающих в стыке «заготовка-установочный элемент».

Список литературы

[1] *Полтавец О.Ф., Зимин В.В., Диланян К.Р.* Пути повышения точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках. Обзор. С-3. Технология и автоматизация производства. М.: ЦНИИТЭ Иавтосельхоз-маш. 1990. 90 с.

[2] *Корсаков В.С./* Основы конструирования приспособлений М.: Машиностроение, 1983. 277с.

[3] *Справочник* технолога машиностроителя. В 2-х т. С74 Т1/Под ред. А М Дальского. А Г Косиловой. Р К Мешерякова. Л Г. Сулова 5 с изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение-1,2001. 912 с.

Бураков Виктор Викторович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, ООО Вольво восток. E-mail: bereg844@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Плазменная резка — это один из наиболее эффективных и современных методов фасонного раскроя листовых материалов, труб и профилей. Диапазон толщин, обрабатываемых с помощью данной технологии от 0,5 до 160 мм. Для каждой толщины материала существует критическое значение скорости реза для конкретной величины тока дуги, выше которой не достигается сквозной прорез материала [1].

Исходя из этих соображений разработчиками оборудования тонкоструйной плазменной резки (фирма Kjellberg, Германия) был предложен ряд технологических схем (Hi-Focus, Hi-FocusF) с определением области их распространения. Технологическая схема Hi-Focus ограничена диапазоном токовых значений от 20 до 50А, что обеспечивает обработку конструкционных сталей толщиной от 0,5 до 8 мм. Диапазон скорости реза находится в пределах от 0,5 до 5 м/мин. При этом в качестве плазмообразующего газа используется кислород.

Технологическая схема Hi-FocusF ориентирована на диапазон толщин реза от 6 до 25 мм, но характеризуется постоянством мощности дуги при максимально возможном значении тока 130А [2]. В качестве плазмообразующего газа используется кислород, а завихряющий газ азот. Дополнительный вихревой газ с очень большой скоростью вращается вокруг струи плазмы и эффективно способствует ее сжатию. Вращающийся вихрь газа сужает, стабилизирует и защищает струю плазмы. Большое преимущество заключается в том, что с помощью этой технологии можно получать почти перпендикулярные поверхности среза в широком диапазоне толщины материала [3]. Для технологий HiFocus размеры диаметра выходного канала сопла составляют величину 0,8мм, а для технологии HiFocus F – 1,4 мм. Увеличение данного размера приводит к возможности пропускания больших токов, а следовательно, позволяет разрезать большие толщины. Это приводит к нестабильности газодинамики в зоне реза и к повышению шероховатости поверхности.

Технология Definition (фирма Hypertherm, США) – новейшая технология плазменной резки. В качестве плазмообразующего газа – смесь водород – аргон – азот с отдельным смешиванием и газа азот в качестве защитного. Обеспечивает получение резов с кромками с минимальным отклонением от перпендикулярности [4]. Благодаря функции отдельного смешивания технология Definition также позволяет менять процент содержания каждого газа в смеси для получения наиболее оптимальных результатов при резке нержавеющей стали различных марок [5]. При сужении плазменной дуги, происходит впрыск в сопло воды. Вода подается по специальному каналу, улучшая концентрацию дуги. При этом возможно создание радиальных сжимающих сил и дополнительно закручивающего эффекта.

Различные технологии плазменной резки позволяют получать различные скорости реза (рис.1).

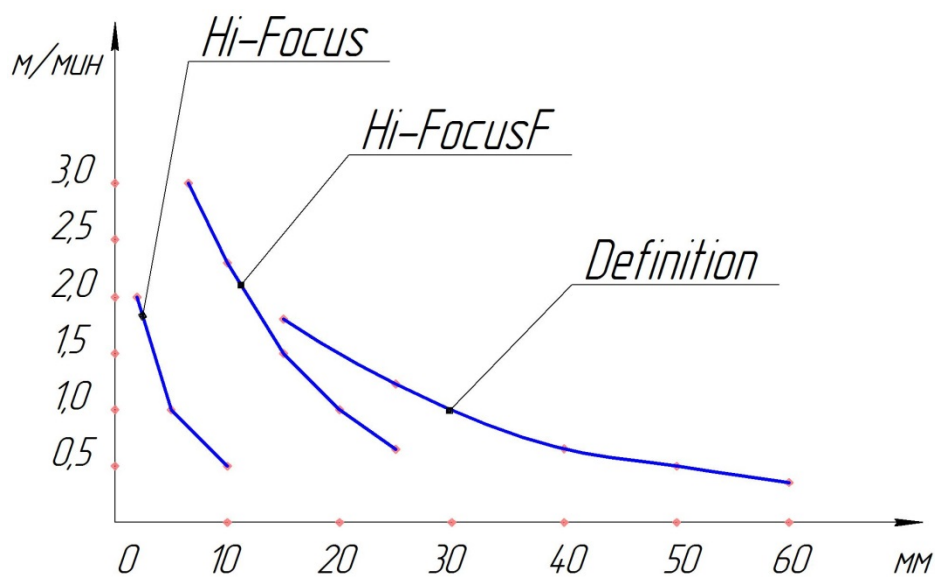


Рис. 1. Сравнительный анализ скорости реза

Список литературы

[1] Рахимьянов А.Х., Локтионов А.А., Никитин Ю.В. Оценка геометрической точности реза листовых материалов при различных технологиях тонкоструйной плазменной резки // Обработка металлов. 2013. № 3. С. 25.

[2] Гаар Н.П., Локтионов А.А. Предотвращение дефектов реза за счет оптимизации траектории при тонкоструйной плазменной резке // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 2. С. 70.

[3] Закалюкина Л.А., Баннов В.Я. Виды и параметры процесса плазменной резки. ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет». Новые информационные технологии в автоматизированных системах – 2016. (<https://e.lanbook.com>)

[4] Локтионов А.А. Тонкоструйная плазменная резка как эффективная технология в заготовительном производстве // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2013. №2. С. 78.

[5] Журавлев А.И. Моделирование процессов тонкоструйной плазменной резки для обеспечения точности формирования криволинейных контуров // Научный вестник НГТУ. 2009. № 4 С. 123.

Попов Вячеслав Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: sava0903@yandex.ru

М.Е. Сафронова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛАССИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК

С помощью литья можно получать изделия самой сложной конфигурации, невыполнимые другими методами получения заготовок.

Качество отливки зависит от технологии литья и конструкции детали, поэтому необходимо знать и учитывать основные особенности литейной технологии и приемы, обеспечивающие получение качественных отливок при наименьших производственных затратах. Оптимальная конструкция литой детали должна наиболее полно соответствовать технологическим возможностям выбранного способа литья при минимальной себестоимости.

Целью настоящей работы является анализ различных способов получения отливок и исследование их технико-экономической эффективности. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

Изучены основные особенности процессов получения отливок;

Проанализированы основные технико-экономические показатели классических способов получения отливок, рассмотрены особенности выбора рационального способа литья заготовки проектируемой детали;

Исследованы литейные свойства сплавов и их влияние на конструктивные размеры и форму отливок.

В песчаных формах получают преимущественно отливки из стали, чугуна, реже - из цветных металлов. Этот способ широко применяют в единичном и серийном производствах. Применение его в массовом производстве возможно только при высокой степени механизации. Этим способом получают отливки фланцев, крышек, втулок, станин, корпусов насосов, редукторов и др. Основными недостатками отливок, полученных литьем в песчаные формы, является высокая шероховатость поверхности, обусловленная крупнозернистой структурой формовочной смеси. [1] Кроме того, возможен пригар формовочной смеси к поверхности отливки, и низкая точность вследствие смещения стержней и погрешностей изготовления и сборки. Затруднено изготовление отливок сложной конфигурации, имеющих тонкие стенки, высокие и узкие ребра жесткости, отверстия малого диаметра и другие аналогичные элементы. Получаемые отливки в основном массивные, толстостенные, в которых предусматриваются большие припуски на механическую обработку ответственных поверхностей. Несмотря на то, что себестоимость отливок, получаемых этим способом, минимальна, затраты на их механическую обработку больше, чем для заготовок, получаемые специальными способами литья. Весьма существенным недостатком литья в ПФ явля-

ется необходимость хранения, транспортировки и переработки больших объемов формовочных смесей (до 10-12 т на 1 т. отливок).

Для полного или частичного устранения этих недостатков применяются способы специального литья.

Литье в оболочковые формы позволяет уменьшить, по сравнению с литьем в песчаные формы, объем обрубных и очистных работ примерно на 50%, расход металла - на 30-50%, сокращает объем последующей механической обработки на 40-50%, расход формовочной смеси - в 10-20 раз.

Процесс получения отливки может быть полностью механизирован.

Главным недостатком оболочкового литья является высокая стоимость связующего вещества (фенолформальдегидных смол). Литье в ОФ применяется в основном для получения отливок деталей таких, как втулки, муфты, фланцы и др. Высокое качество тонкостенных отливок может быть получено из чугуна, углеродистой или легированной стали и цветных металлов.

Литьем по ВМ экономически выгодно изготавливать сложные по конфигурации заготовки, которым предъявляют высокие требования по точности размеров и шероховатости поверхности. Обычно получают отливки из высоколегированных сталей, цветных сплавов и жаропрочных материалов, плохо обрабатываемых резанием или обладающих низкими литейными свойствами. Основная часть экономии при этом способе литья достигается за счет уменьшения массы заготовки и объема ее механической обработки резанием. [3]

При переходе с литья в ПФ на литье в кокиль расход металла сокращается на 10-20% за счет уменьшения массы литниковой системы. Трудоемкость механической обработки вследствие уменьшения припусков и высокой точности размеров снижается в 1,5-2 раза.

Литье в кокиль имеет ряд технологических особенностей, налагающих жесткие ограничения на конфигурацию отливок. Высокая теплопроводность металлической формы способствует быстрому охлаждению потока расплавленного металла и может вызвать его затвердевание до окончания заполнения формы. Поэтому литьем в кокиль относительно трудно получить отливки с тонкими стенками, узкими ребрами и другими аналогичными элементами. Это требует высоких температур заливки, которые ухудшают характеристики материала отливки и снижают стойкость кокилей. Можно использовать специальные технологические приемы, например, предварительный разогрев кокиля, нанесение термоизоляционных покрытий (облицовка) на его внутренние поверхности, применение разветвленной литниковой системы со многими питателями и др. Однако все эти мероприятия усложняют технологический процесс, поэтому не всегда целесообразны. Более технологичными являются относительно простые отливки со стенками не тоньше 3 мм. [2]. Это ограничение обусловлено низкой газопроницаемостью металлической формы, что препятствует удалению газов, выделяющихся из расплава при его

затвердевании, следствием чего является повышенная пористость металла отливки, низкая плотность и недостаточная герметичность. Поэтому при проектировании кокилей предусматривают сложную систему вентиляционных каналов, а при заливке вакуумируют форму, расплав и ограничивают номенклатуру используемых сплавов. Определенные ограничения на конфигурацию деталей налагают требования возможности извлечения отливки из формы и металлических стержней из отливки. Сложные по конфигурации внутренние полости и отверстия часто приходится оформлять песчаными стержнями. Во всех случаях наиболее технологичными являются отливки из легкоплавких цветных сплавов, при использовании которых обеспечивается максимальная стойкость кокилей. К недостаткам центробежного литья следует отнести: неточность размеров, низкое качество внутренней поверхности отливки; сложность получения заготовок из сплавов, склонных к ликвации; возможность возникновения продольных и поперечных трещин в результате высоких центробежных сил и затрудненной усадки отливки.

Недостатками литья под давлением являются: сложность и длительность изготовления пресс-форм, их высокая стоимость и небольшая стойкость, особенно при изготовлении отливок из сплавов с высокой температурой плавления; трудность исключения газовой составляющей в отливках, которая не только снижает герметичность, но и не позволяет проводить термообработку изделия; низкая податливость формы, вызывающая возникновение остаточных напряжений; сложность изготовления и извлечения отливки со сложными полостями. [4]

Технологические возможности способов литья приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические возможности основных способов литья

| Показатель | П | О | В | К | Д | Ц |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|---|----------------|------------------------------|
| Материал отливок | Сталь, чугун, цветные сплавы | Сталь, чугун, цветные сплавы | Сталь, чугун, цветные сплавы, спец. сплавы | Сталь, чугун, цветные сплавы | Цветные сплавы | Сталь, чугун, цветные сплавы |
| Максимальная масса отливок, кг | 200 000 | 150 | 150 | 7000 – чугун, 4000 – сталь, 500 – цветной сплав | 1000 | 600 |
| Максимальный размер отливки, | Неогранич. | 1500 | 1000 | 2000 | 1200 | 6000 |

| Показатель | | П | О | В | К | Д | Ц |
|--|-----|------------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| мм | | | | | | | |
| Толщина стенок, мм | min | 3,0 | 2,0 | 0,5 | 3,0 | 0,5 | 4,0 |
| | max | Неогранич. | 12,0 | 6,0 | 100 | 6,0 | Неогранич. |
| Класс точности отливок | | 6...14 | 4...11 | 3...8 | 4...11 | 3...8 | 6...14 |
| Шероховатость поверхности, Ra, мм | | 80...20 | 40...10 | 20...5 | 40...10 | 10...2.5 | 80...20 |
| Минимальный припуск на механическую обработку (на сторону), мм | | 0,3...0,6 | 0,4...0,2 | 0,0...0,6 | 0,377...1,0 | 0,2...0,5 | 0,3...1,0 |
| Коэффициент весовой точности, КВТ, % | | 60...70 | 80...95 | 90...95 | 75...80 | 90...95 | 70...90 |
| Относительная себестоимость 1т отливок | | 1,0 | 1,5...2,0 | 2,5...3,0 | 1,2...1,5 | 1,8...2,0 | 0,6...0,7 |
| Экономически оправданная серийность, шт/год | | Неогранич. | 200 ...500 | 1000 | 400...800 | 1000 | 100..1000 |

ПРИМЕЧАНИЕ: П – литье в песчаные формы; О – литье в оболочковые формы; В – литье по выплавляемым моделям; К – литье в кокиль; Д – литье под давлением; Ц – центробежное литье.

Список литературы

[1]. ГОСТ Р 53464-2009 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.

[2]. ГОСТ 27713-88 (СТ СЭВ 5929-87) Литейное оборудование. Машины для литья в кокиль. Присоединительные размеры крепления кокилей.

[3]. *Современные способы создания модельных комплектов для литья* / М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, С.Л. Ровин [и др.] // *Литье и металлургия*. — 2018. — № 3. — С. 125-130. — ISSN 1683-6065. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/309279> (дата обращения: 11.11.2019).

[4]. *Точное литье в керамическую форму – высокоэффективный способ изготовления отливок сложной формы.* / Б.И. Уваров, П.Е. Лущик, А.А. Андриц [и др.] // *Литье и металлургия*. — 2016. — № 4. — С. 23-27. — ISSN

1683-6065. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.
— URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/300274> (дата обращения:
29.10.2019).

Сафронова Мария Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Калуга, 248000, Россия. E-mail: svetlaya.dom@mail.ru

КОНСТРУКЦИЯ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ «КОРПУС» И «КРЫШКА»

Пресс-формы литья под давлением применяют в производстве изделий из термопластов. Характерные признаки – наличие литниковой системы и отсутствие загрузочной камеры. Такие формы обеспечивают высокую степень автоматизации процесса и хорошее качество изделий, не требующих или почти не требующих дополнительной обработки [1].

Пластмасса через бункер поступает в шнек, где происходит его расплавление за счёт нагревателей. После уже расплавленная пластмасса впрыскивается в пресс-форму. Затем происходит заполнение формы, получение деталей необходимой конфигурации и охлаждение. Как только изделие остывает до температуры, достаточной для безопасного съема детали, происходит размыкание пресс-формы, а именно подвижная часть пресс-формы движется влево [2]. Выбивание деталей из пресс-формы осуществляет цилиндр через хвостовик.

Согласно полученным размерам проектируется пресс-форма. В пресс-форме имеется 4 гнезда, 2 из которых под деталь «Корпус», 2 других используют для получения ответной детали «Крышка». «Корпус» используют для монтажа реле в автомобилестроении, следовательно, необходима хорошая собираемость. Поэтому «Корпус» и «Крышку» отливают в одной пресс-форме, представленной на рис. 1.

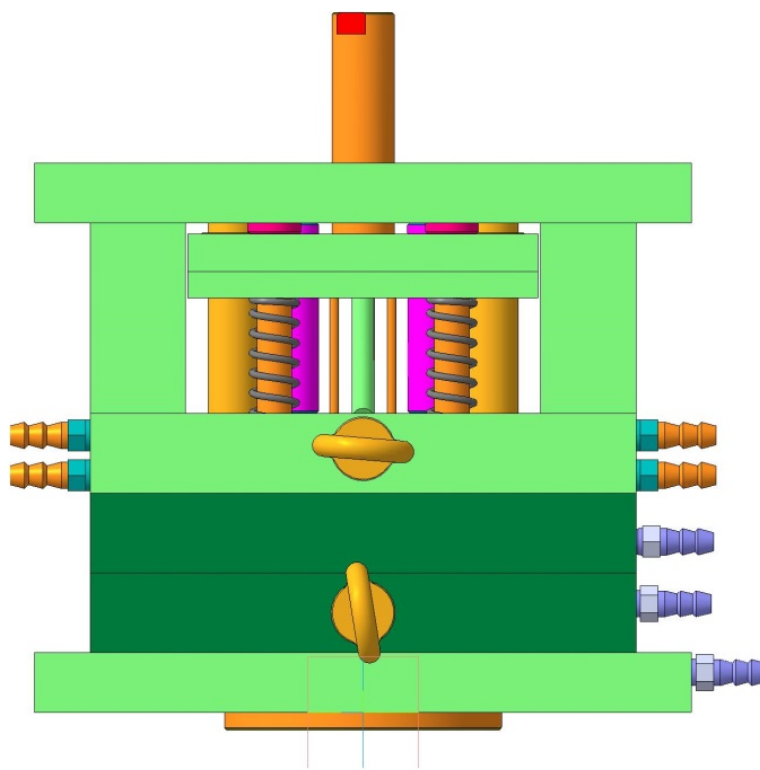


Рис. 1. Пресс-форма

Состоит она из двух частей: подвижной и неподвижной. Неподвижную часть пресс-формы крепят к статической плите ТПА, подвижную – к постаменту, установленному на подвижном блоке машины. Данная пресс-форма является многоместной, изготовленная из стали [3]. Части пресс-формы представлена на рис. 2

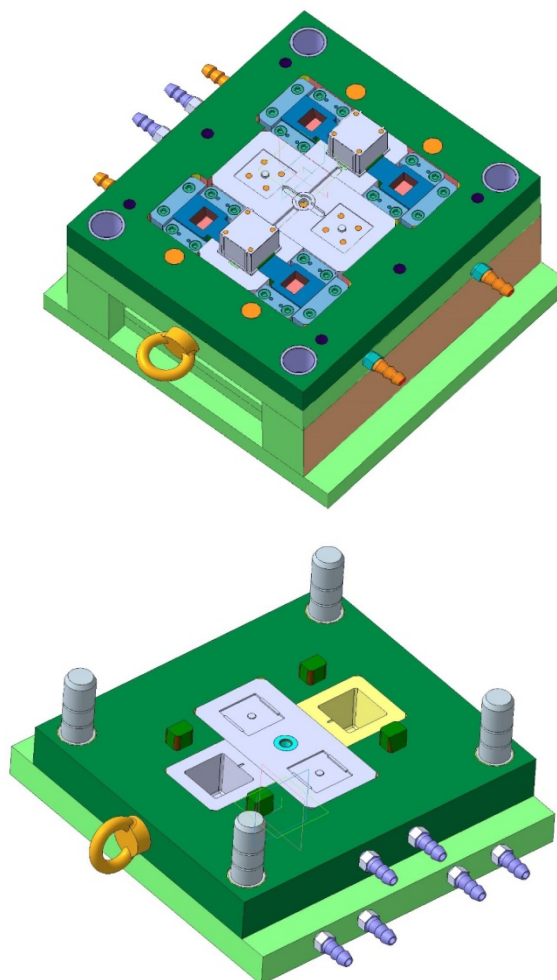


Рис. 2. Подвижная и неподвижная части пресс-формы

В состав неподвижной части входят следующие детали: неподвижная плита, направляющие колонки, литниковая втулка, винты с цилиндрической головкой, заглушки, матрицы, обойма матриц.

Неподвижную плиту крепят к статической плите ТПА.

Штуцеры используются для подвода охлаждения.

Матрица-неподвижная часть, которая имеют форму внешних поверхностей изделия.

Литниковые втулки предназначены для сопряжения полости пресс-формы с камерой прессования машины.

Обойма матриц служит для непосредственного закрепления в ней матриц деталей. Она не принимает непосредственного участия в формировании изделия, однако испытывает при прессовании большие нагрузки, поэтому относится к ответственным деталям [4].

В состав подвижной части входят: штуцеры, пакет толкателей, винты с цилиндрической головкой, центрирующие втулки, опорные колонки, хвостовик, промежуточная плита, контртолкатель, подвижная плита, пружины, пуансоны, обойма пуансонов.

Подвижная плита крепится к постаменту, установленному на подвижном блоке машины [5].

Пружины используются для возврата толкателей в исходное положение.

Пуансон является основной деталью подвижной части пресс-формы, служит для оформления внутренней поверхности изделия.

Центрирующие втулки необходимы для правильного смыкания полуформ, и, как следствие, для получения отливки с нужными геометрическими формами.

Контртолкатель предназначен для принудительного возвращения выталкивателей с пакетом толкателей в первоначальное положение.

Хвостовик предназначен для перемещения пакета толкателей.

Штуцеры используются для подвода охлаждения, также в обоймах имеются каналы, по которым циркулирует охлаждающая жидкость.

Рым-болт используют для удобства перемещения пресс-формы [6].

Список литературы

[1]. *Бысов С.А. Гинсар И.Э.* Анализ пластмассовой детали «Корпус» при помощи программного обеспечения // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2019. №СВ1 (25). С. 6—11.

[2]. *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Савина Ю.А.* Математическое моделирование качественных характеристик при обработке конструкционных материалов на основе железа // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2017. — № 5. — С.74-77.

[3]. *Мурашов В.В., Румянцев А.Ф.* Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. — М.: Спектр, 2006. — 242 с.

[4]. *Яблочников Е.И., Брагинский В.А., Восоркин А.С.* Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов // Приборостроение. — 2012. — №7. — С. 17-19.

[5]. *Садова А.Н., Дебердеев Т.Р., Кузнецова О.Н., Стоянов О.В.* Проблемы выявления и устранения причин дефектов в процессе получения изделий из термопластов. Часть I. — Казань, 2009. — 123 с.

[6]. *Малышев Е.Н., Бысов С.А.* Создание автоматизированных технологических систем на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Автоматизация и современные технологии. —2012. — № 4. — С.26-32.

Гинсар Ирина Эдуардовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: irinaginsar708@gmail.com

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА НАРУЖНЫХ ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Шлицевое (зубчатое) соединение – соединение вала (охватываемой поверхности) и отверстия (охватывающей поверхности) с помощью радиально расположенных шлицев (пазов) и зубьев (выступов). Соединение обладает довольно большой прочностью, обеспечивает соосность вала и отверстия вместе с возможностью осевого перемещения детали. Также как и шпоночные, шлицевые соединения предназначены для передачи крутящих моментов в соединениях шкивов, муфт, зубчатых колес и других деталей с валами. В отличие от шпоночных, шлицевые соединения кроме передачи крутящих моментов осуществляют еще и центрирование сопрягаемых деталей, которое может осуществляться по наружному, внутреннему диаметрам или по боковой стороне зуба. Шлицевые соединения могут передавать большие по величине крутящие моменты, нежели чем шпоночные, также они имеют меньшие перекосы и смещения пазов и зубьев. В зависимости от профиля зубьев шлицевые соединения делятся на соединения: прямоугольные по ГОСТ 1139–80, эвольвентные с углом профиля 30° по ГОСТ 6033–80 и треугольные с углом профиля 60° , 72° и 90° . Прямоугольные шлицы составляют до 85-90% от общего количества.

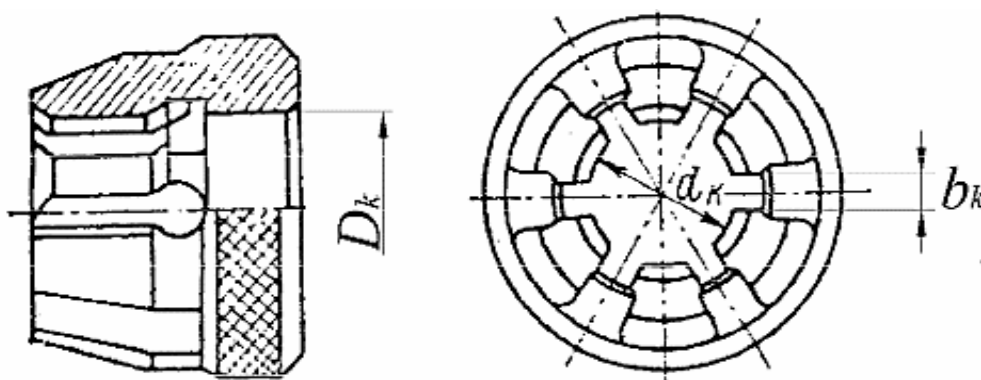


Рис. 1. Калибр для контроля расположения наружной шлицевой поверхности

Детали шлицевых соединений контролируют проходными комплексными калибрами (пробками и кольцами, рис.1), при этом поэлементный контроль осуществляют гладкими калибрами или измерительными приборами. С помощью поэлементного контроля в условиях серийного производства проверяют диаметры валов и толщину зубьев вала. Предельные отклонения по элементам шлицевых деталей стандарт не устанавливает, поэтому предприятия рассчитывают их как долю от общего поля допуска. Контроль параллельности и симметричности боковых сторон шлиц может быть выполнен при закреплении вала в центрах с помощью оптической делительной головки. Пробковыми и кольцевыми комплексными калибрами контролируется взаимное расположение поверхностей соединения. Вал считается годным,

если комплексный калибр-кольцо проходит, а диаметры и толщина зуба не выходят за установленные нижние пределы. При длине шлицевых деталей, превышающей длину комплексного калибра, предельные отклонения от параллельности боковых сторон шлиц вала или втулки относительно оси центрирующей поверхности не должны превышать на длине 100 мм: 0,03 мм в соединениях повышенной точности с допусками на размер b в пределах от 6 до 8 квалитета; 0,05 мм в соединениях нормальной точности с допусками на размер b в пределах от 9 до 10 квалитета. [1]

Во избежание заедания на поверхности шлицев не допускаются забоины, заусенцы, острые края, должны быть сняты фаски.

Неподвижные шлицевые поверхности проверяют на биение и конусообразность индикатором на приборе, имеющем делительную головку. Величины допускаемых радиальных и торцовых биений оговариваются в чертеже на сборку технологического комплекта или узла. Легкоразъемные и подвижные шлицевые соединения контролируют также и на перемещение охватывающей детали по шлицам (на «качку»). При контроле соединений, работающих в тяжелом режиме, прилегание шлицев проверяют по краске.

В легкоразъемных и подвижных шлицевых соединениях охватывающие детали устанавливаются под действием небольших сил. Осевое перемещение охватывающей детали в правильно собранной сборочной единице осуществляется легко, без заеданий, а тангенциальное — под действием крутящего момента, создаваемого вручную, допускается в узких пределах. В подвижных соединениях отверстия охватывающей детали и шлицевого вала должны быть соосны. При полной соосности все шлицы вала контактируют со шлицами отверстия; если такого контакта не будет, ухудшаются условия работы соединения.

Список литературы

[1] *Кайнова В.Н.* Метрологическая экспертиза и нормоконтроль технической документации: учебно-методическое пособие / В. Н. Кайнова, Е. В. Зимица, В. Г. Кутяйкин; под общей редакцией В. Н. Кайновой. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — ISBN 978-5-8114-3482-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/115488> (дата обращения: 04.03.2020).

[2] *Копылов Ю.Р.* Дистанционное изучение курса «Технология машиностроения» в Интернете: учебное пособие / Ю. Р. Копылов, А. А. Болдырев. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 320 с.

[3] *Тюняев А.В.* Основы конструирования деталей машин. Валы и оси: учебно-методическое пособие / А. В. Тюняев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 316 с.

Бабахин Григорий Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: grigoriybabahin@gmail.com

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В машиностроении обработку поверхностей можно производить различными методами на различных моделях станков, например, на строгальных, долбежных, фрезерных, протяжных, токарных, расточных, многоцелевых, шабровочных и др. (лезвийным инструментом); шлифовальных, полировальных, доводочных (абразивным инструментом).

Детали с поверхностями, к которым предъявляются высокие требования по параллельности поверхностей, требуют особенного вида обработки. Это может заключаться как в изменении стадий и параметров обработки, так и в изменении методов обработки. Наиболее широкое применение находят в машиностроении строгание, фрезерование, протягивание и шлифование поверхностей, каждый из которых имеет свою область применения.

Строгание применяется при изготовлении деталей малого объёма выпуска с невысокими требованиями к качеству обработанной поверхности, так как данный метод весьма гибкий при переходе на производство другой детали. Этот метод обработки является весьма гибким при переходе на другие условия работы. Однако он малопроизводителен: обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на этих станках требуются рабочие высокой квалификации. Параллельность поверхностей при строгании обеспечивается высокой жёсткостью станка и его узлов. Данный метод используется в основном при единичном и мелкосерийном производстве, поскольку он является малопродуктивным так как при строгании обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на этих станках требуются рабочие высокой квалификации.

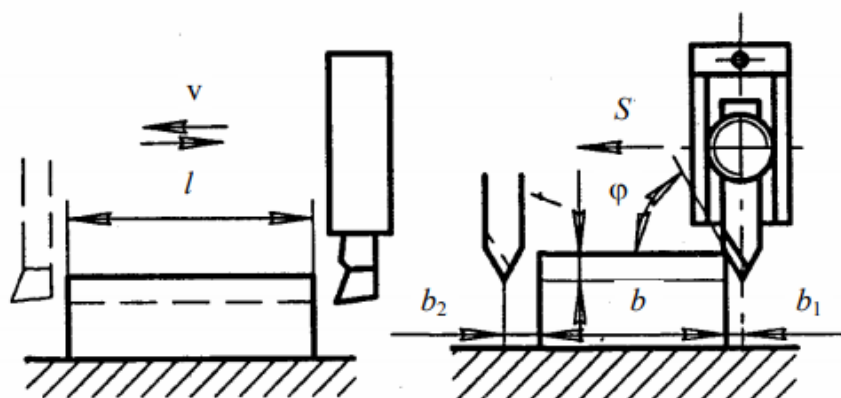


Рис. 1. Схема строгания плоской поверхности:
 l – длина заготовки; b_1 – врезание резца мм; b_2 – перебег мм;
 b – ширина заготовки, мм; t – глубина резания, мм

Основным методом обработки параллельных поверхностей является фрезерование на продольно-фрезерных станках. При фрезеровании на продольно-фрезерных и барабанно-фрезерных станках параллельность поверхностей обеспечивается одновременной обработкой этих поверхностей, инструменты которых получают движение подачи от одного привода. В таком случае, погрешности обработки будут равными у обрабатываемых поверхностей.

При групповой обработке заготовки устанавливаются на рабочем столе в один или два ряда и фрезеруют у них одни и те же поверхности (рис. 2, а; б).

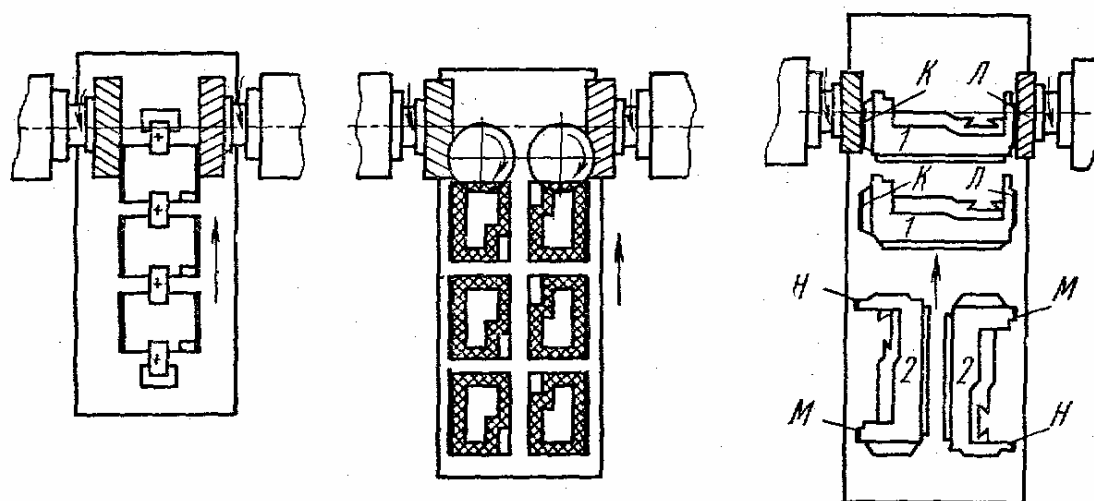


Рис. 2. Схема групповой обработки на продольно-фрезерном станке

Фрезерование широко используется как в серийном, так и в массовом производстве за счёт высокой степени автоматизации и простоты процесса.

Шлифование используется для повышения качества уже обработанной поверхности, что обеспечивает высокие требования к шероховатости и точности поверхности.

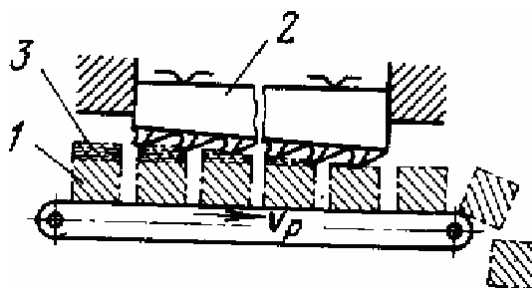


Рис. 3. Схемы обработки наружных поверхностей на протяжных станках:

а — на вертикальном; б — горизонтальном;

1 — деталь; 2 — протяжка; 3 — припуск

В массовом производстве протягивание наружных плоскостей корпусных деталей выполняют на специализированных протяжных станках горизонтального и вертикального типа (рис. 3). Высокая производительность обеспечивается применением станков непрерывного действия различной конструкции.

Протягивание поверхностей применяют для черновой, чистовой и отде-

лочной обработки наружных поверхностей заготовок корпусных деталей. Быстроходные протяжные станки встраивают в автоматические линии для обработки корпусных деталей, у которых предварительно и окончательно протягивают одновременно несколько плоских и фасонных поверхностей.

В массовом производстве проводят протягивание наружных плоскостей корпусных деталей, при котором обеспечивается высокая точность размеров и относительного расположения обрабатываемых поверхностей. Высокая производительность обеспечивается применением станков непрерывного действия различной конструкции. Применение в массовом производстве обуславливается относительно высокой стоимостью режущего инструмента.

Список литературы

[1]. *Антимонов А.М.* Основы технологии машиностроения. Учебник, Екатеринбург, 2017, Гл. 12.2, с 88.

[2]. *Дмитриев С.И.* Технология машиностроения. Курс лекций. / Д53 Под ред. Н. П. Солнышкина. – Псков : Издательство ППИ, 2009. 128 с., – ил.

[3]. *Клетиков В.В., Бодров А.Н.* Технология машиностроения: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. 2004. – 860 с.: ил. – (Серия «Профессиональное образование»).

[4]. *Ткачёв А.Г. Шубин И.Н.* Типовые технологические процессы изготовления деталей машин: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 112 с.

Тагиев Али Анар оглы – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: taqali19@gmail.com

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ШТАМПОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ТИПА «ФЛАНЕЦ»

Опережающее развитие машиностроительного комплекса вызывает необходимость повышения действенности системы технического контроля в заготовительном производстве.

Основные задачи технического контроля:

- выявление причины отклонения качества заготовок от заданного и нарушений технологического процесса;
- разработка мероприятий по повышению качества продукции;
- установление соответствия режимов и последовательности выполнения технологических операций, предусмотренных технической документацией;
- установление соответствия качества материалов, требуемых для производства заготовок.

К средствам неразрушающего контроля принято относить контрольно-измерительную аппаратуру, в которой используются проникающие поля, излучения и вещества для получения информации о качестве исследуемых материалов и объектов.

В отечественной практике современный подход к классификации методов неразрушающего контроля (НК) отражен в ГОСТ 18353–73, в соответствии с которым всем методам НК присваивается строго определенный код. Структура кода состоит из шести разрядов, каждый из которых обозначается двумя цифрами [2].

ГОСТ различает десять основных видов НК (табл. 1).

Таблица 1

Классификация методов НК

| Индекс | Методы |
|--------|------------------|
| 01 | Акустические |
| 02 | Капиллярные |
| 03 | Магнитные |
| 04 | Оптические |
| 05 | Радиационные |
| 06 | Радиоволновые |
| 07 | Тепловые |
| 08 | Течеискания |
| 09 | Электрические |
| 10 | Электромагнитные |

По техническому исполнению средства контроля можно разделить на три класса:

1. Автономные приборы для контроля одной или нескольких взаимосвязанных качественных характеристик;
2. Комплексные системы и автоматические линии, предназначенные для контроля ряда основных параметров, характеризующих качество объекта;
3. Системы НК для автоматического управления технологическими процессами по качественным признакам.

По видам контролируемых параметров СНК разделяются:

- на дефектоскопы, т. е. приборы и установки, предназначенные для обнаружения дефектов типа нарушений сплошности (трещины, раковины, расслоения и т. п.);
- приборы для измерения физико-механических и физико-химических характеристик (электрических, магнитных и структурных параметров, отклонений от заданного химического состава, измерения твердости, пластичности, коэрцитивной силы, контроля качества упрочненных слоев, содержания и распределения ферритной фазы и т. п.);
- приборы технической диагностики для предсказания возникновения различного ряда дефектов (нарушения сплошности, изменение размеров и физико-механических свойств объекта на период его эксплуатации).

Основные виды НМК

Акустические методы основаны на регистрации колебаний, возбуждаемых или возникающих в контролируемом объекте. Их применяют для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов (нарушений сплошности, неоднородности структуры, межкристаллитной коррозии, дефектов склейки, пайки, сварки и т. п.) в деталях и изделиях, изготовленных из различных материалов. Они позволяют контролировать геометрические параметры при одностороннем допуске к изделию, а также физико-механические свойства металлов и металлоизделий без их разрушения.

Капиллярные методы основаны на капиллярном проникновении капель индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов. При контроле этими методами на очищенную поверхность детали наносят проникающую жидкость, которая заполняет полости поверхностных дефектов. Затем жидкость удаляют, а оставшуюся в полостях дефектов часть обнаруживают с помощью проявителя, который образует индикаторный рисунок. Капиллярные методы используются в полевых, цеховых и лабораторных условиях, в широком диапазоне положительных и отрицательных температур. Они позволяют обнаруживать термические и шлифовочные трещины, волосовины, закаты и пр. Капиллярные методы могут быть применены для обнаружения дефектов в деталях из металлов и неметаллов простой и сложной формы.

Магнитные методы контроля основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных

свойств контролируемых изделий. Эти методы позволяют обнаружить дефекты типа несплошности материала (трещины, волосовины, закаты), а также определить механические характеристики ферромагнитных сталей и чугунов по изменению их магнитных характеристик.

Визуально оптические методы контроля основаны на взаимодействии светового излучения с контролируемым объектом (КО). По характеру взаимодействия различают методы прошедшего, отражённого, рассеянного и индуцированного излучений (под последним имеется в виду оптическое излучение предмета под действием внешнего воздействия, например люминесценцию).

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения. Используется рентгеновское, гамма-излучение, потоки нейтрино и т. д. Проходя через толщу изделия, проникающие излучения по-разному ослабляются в дефектном и бездефектном сечениях и несут информацию о внутреннем строении вещества и наличии дефектов внутри изделия. Эти методы используются для контроля сварных и паяных швов, отливок, проката и т. п.

Радиоволновые методы основаны на регистрации параметров электромагнитных волн радио диапазона, взаимодействующих с КО. Обычно используются волны сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона длиной 1-100 мм для контроля изделий из материалов, где радиоволны затухают не очень сильно: диэлектрики (пластмасса, керамика, стекловолокно), магнитодиэлектрики (ферриты), полупроводники, тонкостенные металлические объекты. Также, как оптические и акустические, различают методы прошедшего, отражённого, рассеянного излучения и резонансный метод.

Тепловые методы основаны на регистрации изменений тепловых или температурных полей КО. Они применимы к любым материалам. Различают пассивный (на объекты не воздействуют внешним источником тепла) и активный (объект нагревают или охлаждают) методы. Измеряемым информативным параметром является температура или тепловой поток.

Методы контроля течеисканием основаны на регистрации индикаторных жидкостей и газов, проникающих в сквозные дефекты КО. Их применяют для контроля герметичности работающих под давлением сварных сосудов, баллонов, трубопроводов, топливной и гидроаппаратуры, масляных систем силовых установок и т. п.

Электрические методы основаны на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с КО (собственно электрический метод), или поля, возникающего в КО в результате внешнего воздействия (термоэлектрический или трибоэлектрический методы).

Электромагнитный метод (вихревых токов) основана регистрации изменений взаимодействия электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в КО. Его применяют для обнаружения поверхностных дефектов в магнитных и немагнитных деталях и полуфабрикатах. Метод позволяет обнаруживать нарушения сплошности (в основном трещины) на различных по конфигурации деталях. [1]

Список литературы

[1] *Каневский И.Н.* Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.

[2] *Клюев В.В.* Неразрушающий контроль. - М.: Машиностроение, 2004. - 864 с.

Войтович Олеся Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: olesyavoyt@gmail.com

Д.С. Махотин

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «КУЛИСА»

В машиностроении используют заготовки, которые изготавливают литьем, обработкой давлением, сваркой, а также из пластмасс и порошковых материалов.

Когда выбирают вид и метод изготовления заготовки, нужно учитывать и конструкцию, и материал детали, и ее форму, и размеры, и тип производства, и имеющееся оборудование.

От данного выбора изготовления заготовки, т. е. установления метода ее получения, формы, величины припусков, напусков и др., зависит масса заготовки и объем последующей механической обработки детали. От правильного выбора вида и размеров заготовки зависит себестоимость изготовления.

Самая целесообразная исходная заготовка та, которая требует наименьших затрат при изготовлении детали с учетом всех технологических операций обработки и необходимого качества детали.

В крупносерийном и массовом производствах обработку давлением осуществляют преимущественно методом штамповки, так как при этом поковки в партии могут быть получены одинаковые по форме и объему, с большой точностью размеров.

Обработкой давлением изготавливают заготовки из достаточно пластичных металлов. Механические свойства этих заготовок всегда выше, чем литых.

Штамповка в закрытых штампах обеспечивает высокие механические свойства поковок. Это объясняется тем, что металл деформируется по схеме всестороннего неравномерного обжатия и после пластической деформации волокна, ориентированные в направлении контура поковки, не перерезаются при обрезке заусенцев.

Способ получения заготовки должен быть наиболее экономичным при заданном объеме выпуска деталей.

Относительно высокая стоимость изготовления и содержания штампов, в большей мере многоручьевых, делает экономичным использование штамповки на штамповочных молотах при крупносерийном и массовом производстве валов и других подобных деталей.

Штампованные заготовки, получаемые на штамповочных молотах, отличаются наиболее меньшими припусками на обработку и колебанием их величин по сравнению с получаемыми свободной ковкой.

Качество поверхности штампованной детали зависит от качества поверхности инструмента (не выше $Ra = 0,32 \dots 0,08 \text{ мкм}$), смазочного материала, разделяющего слоя и др.

Достоинствами штамповки деталей, являются:

1. Большая производительность.
2. Поверхность изделия точная, маленькой шероховатости, почти не требует механической обработки.
3. Изделие не требует термической обработки.
4. Легко подвергается автоматизации.
5. Не требуется высокая квалификация рабочего.

Список литературы

[1]. *Базров Б.М.* Основы технологии машиностроения: учебник / Б. М. Базров. — 2-е изд. — Москва : Машиностроение, 2007. — 736 с. — ISBN 978-5-217-03374-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/720> (дата обращения: 23.12.2019).

[2]. *Дальский А.М.* Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

[3]. *Ковка и штамповка.* В 2-х т. Т. 1 / под ред. Э. И. Борзяк [и др.]. 3-е изд., стереотип. М.: Медицина, 1996. 544с.

[4]. *Кузьмин Г.Н.* Определяющие элементы организации научно-исследовательской работы // Тез. докл. на респ. межвуз. научно-исслед. конф. по пробл. обучения студентов, г. Чиргин, 14 -16 апр. 1977. Ташкент, 1977. С. 21-32.

[5]. *Методы* получения заготовок деталей машин: учебное пособие / В. Ф. Пегашкин, Е. В. Пегашкина; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. техн. ин-т (филиал). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 81 с.

[6]. *Общемашиностроительные* нормативы времени на холодную штамповку, резку, высадку и обрезку. Массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное производство. – М.: Экономика, 1987. – 188с.

[7]. *Основы* металлургического производства : учебник / В. А. Бигеев, К. Н. Вдовин, В. М. Колокольцев [и др.] ; под общей редакцией В. М. Колокольцева. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 616 с. — ISBN 978-5-8114-4960-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129223> (дата обращения: 23.12.2019).

Махотин Дмитрий Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: махотин1998@mail.ru

А.О. Штокал, Е.В. Рыков, А.В. Артемьев,
В.К. Шаталов, В.А. Богачев, О.П. Баженова,
Т.В. Рожкова, Д.В. Сергеев, В.Д. Демина

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПОРА УЗЛОВ РАСКРЫТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НА ЦЕЛЕВУЮ ОРБИТУ

Типичным конструкционным приёмом, позволяющим минимизировать габариты космических аппаратов в транспортном положении и наиболее эффективно использовать их объём, является применение узлов раскрытия. Чаще всего они используются для изменения пространственного положения антенн, крышек, солнечных батарей и научных приборов относительно несущей конструкции космических аппаратов после окончания этапа их транспортирования на целевую орбиту. Иногда от момента окончания транспортирования космического аппарата ракетой-носителем до момента активации узла раскрытия проходит значительный промежуток времени, измеряемый месяцами. В таких случаях главной задачей конструктора является обеспечение работоспособности узла раскрытия на протяжении всего времени его пребывания в транспортном положении.

Известно [1], что металлические поверхности контактирующих элементов конструкции в условиях космического пространства после испарения тонких оксидных слоёв становятся склонными к схватыванию (так называемая «холодная сварка»), что не раз приводило к отказу ряда систем космических аппаратов [1]. Также экспериментально установлено, что традиционно применяемые для предотвращения холодной сварки контактирующих поверхностей твёрдые смазочные покрытия на основе дисульфида молибдена типа ВНИИ НП-230 (иностранный аналог – Vespel SP3) стираются на всю толщину в результате фреттинг-износа, возникающего при транспортировке космического аппарата ракетой-носителем на целевую орбиту [2]. Данные учёных из Европейского космического агентства (ЕКА) [3] также подтверждают полученное заключение и указывают на то, что оксидный слой на алюминиевых и титановых сплавах, сформированный микродуговым оксидированием (МДО), называемый европейцами керонит (keronite), обеспечивает надёжную защиту от адгезии при фреттинг-нагрузении. Поэтому перспективным методом предотвращения холодной сварки поверхностей элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов является формирование на них защитных керамикоподобных покрытий.

Проведение ряда исследований, часть результатов которых опубликованы [1, 2, 4–7], выявило ряд особенностей функционирования элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов в процессе их транспортирования на целевую орбиту:

1) На рис. 1 изображено приспособление, моделирующее нагрузки на контактирующие поверхности элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов при их транспортировке на целевые орбиты. Фактически данное приспособление является моделью типового узла раскрытия, включающей в свой состав упругий элемент (балку), подвижную массу (имитатор нагрузки) и элементы распора (упор и площадку). Изучение теоретических положений [8], а также замер перемещений в процессе проведения экспериментов показывают, что при приложении вибрационных нагрузок в направлении осей X и Y контактирующие поверхности элементов распора работают в условиях фреттинга (относительные перемещения меньше удвоенного диаметра пятна контакта), а при приложении вибрационных нагрузок в направлении оси Z контактирующие поверхности элементов распора работают в условиях микроудара (имеет место разрыв контакта поверхностей с последующим его восстановлением за счёт упругости балки).

Таким образом, можно заключить, что при выведении космического аппарата на целевую орбиту контактирующие поверхности элементов распора узлов раскрытия работают в условиях сложного нагружения, определяемого чередованием фреттинга и микроударов.

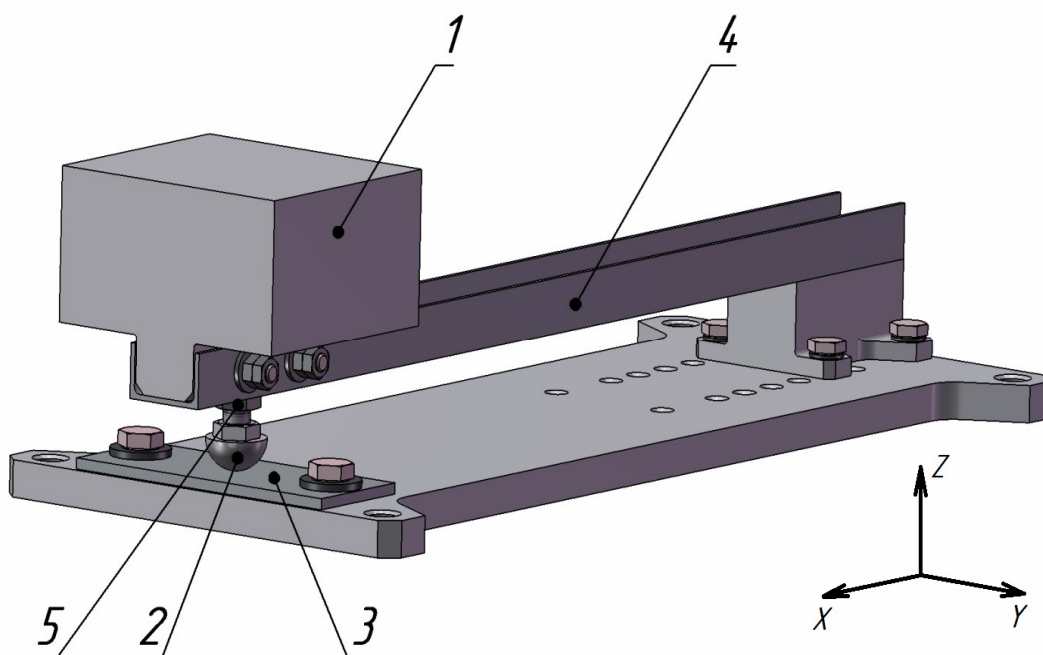


Рис. 1. Приспособление, моделирующее нагрузки на контактирующие поверхности элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов при их транспортировке на целевые орбиты (модель типового узла раскрытия):

1 – имитатор нагрузки; 2 – упор; 3 – площадка; 4 – балка; 5 – контргайка.
 X, Y, Z – оси приложения вибрационных нагрузок

2) В процессе проведения экспериментов было выявлено ослабление затяжки контргайки (рис. 1) и увеличение амплитуды колебаний балки. При приложении высокочастотных вибрационных нагружений действие сил

трения, препятствующих самоотвинчиванию, сильно снижается. Для предотвращения данного явления рекомендуется дополнительное стопорение контргайки с использованием органических материалов, например, шпатлёвки ЭП-0020 (при необходимости многократной разборки узла раскрытия) или клея ВК-9.

3) В процессе проведения экспериментов с МДО-покрытиями на алюминиевых сплавах АМг6, 01570 и Д16АТ установлена зависимость процента износа МДО-покрытия на поверхности площадки по толщине в центре пятна контакта от толщины МДО-покрытия (рис. 2).

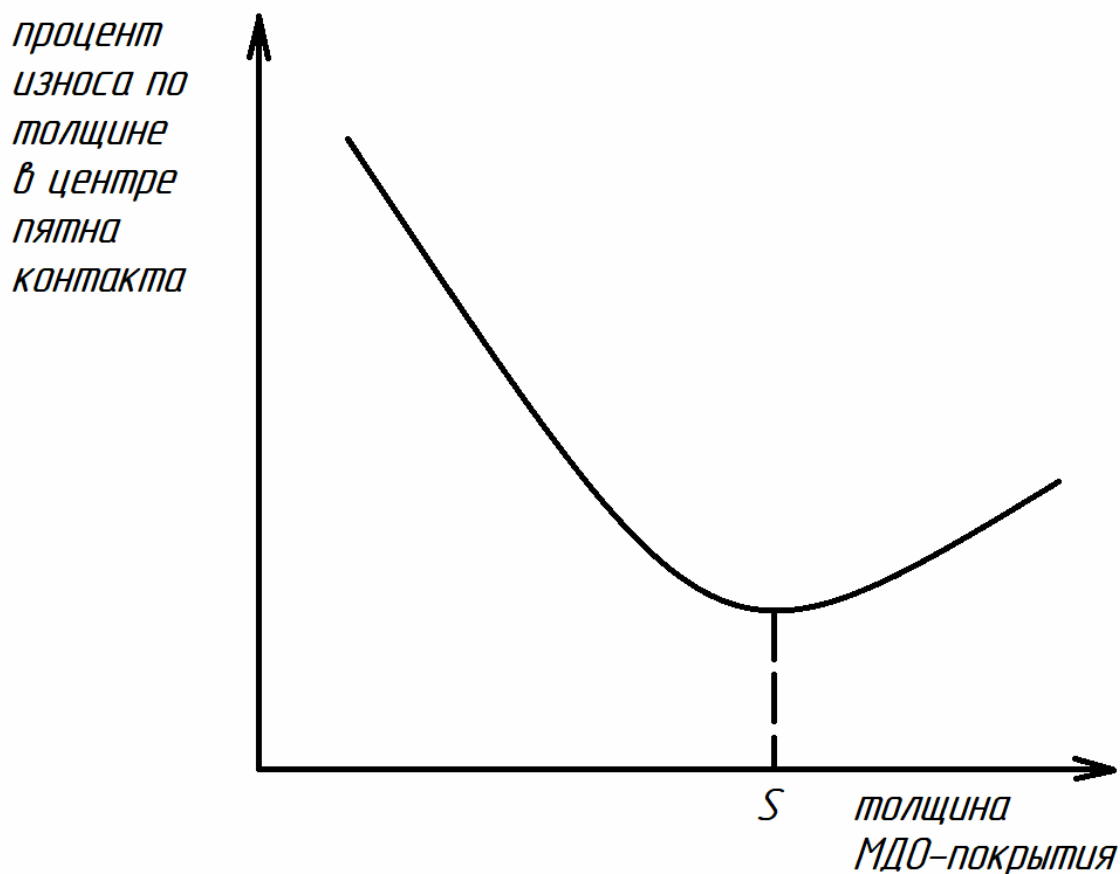


Рис. 2. График зависимости процента износа МДО-покрытия на поверхности площадки по толщине в центре пятна контакта от толщины МДО-покрытия

С ростом толщины МДО-покрытия процент его износа в центре пятна контакта начинает сокращаться вследствие увеличения твёрдой и износостойкой кристаллической составляющей ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) в составе покрытия с достижением некоторой оптимальной толщины S , при которой процент износа МДО-покрытия в центре пятна контакта становится минимальным. С дальнейшим ростом толщины МДО-покрытия в нём продолжает увеличиваться толщина кристаллической составляющей, что приводит к быстрому распространению трещин в покрытии, возникновению сколов и, как следствие, к увеличению процента износа МДО-покрытия по толщине в центре пятна контакта в виду увеличения амплитуды вынужденных колебаний упора.

4) В процессе проведения экспериментов с МДО-покрытием на алюминиевом сплаве Д16АТ установлена зависимость процента износа МДО-покрытия на поверхности площадки по толщине в центре пятна контакта от диаметра сферы упора (рис. 3).

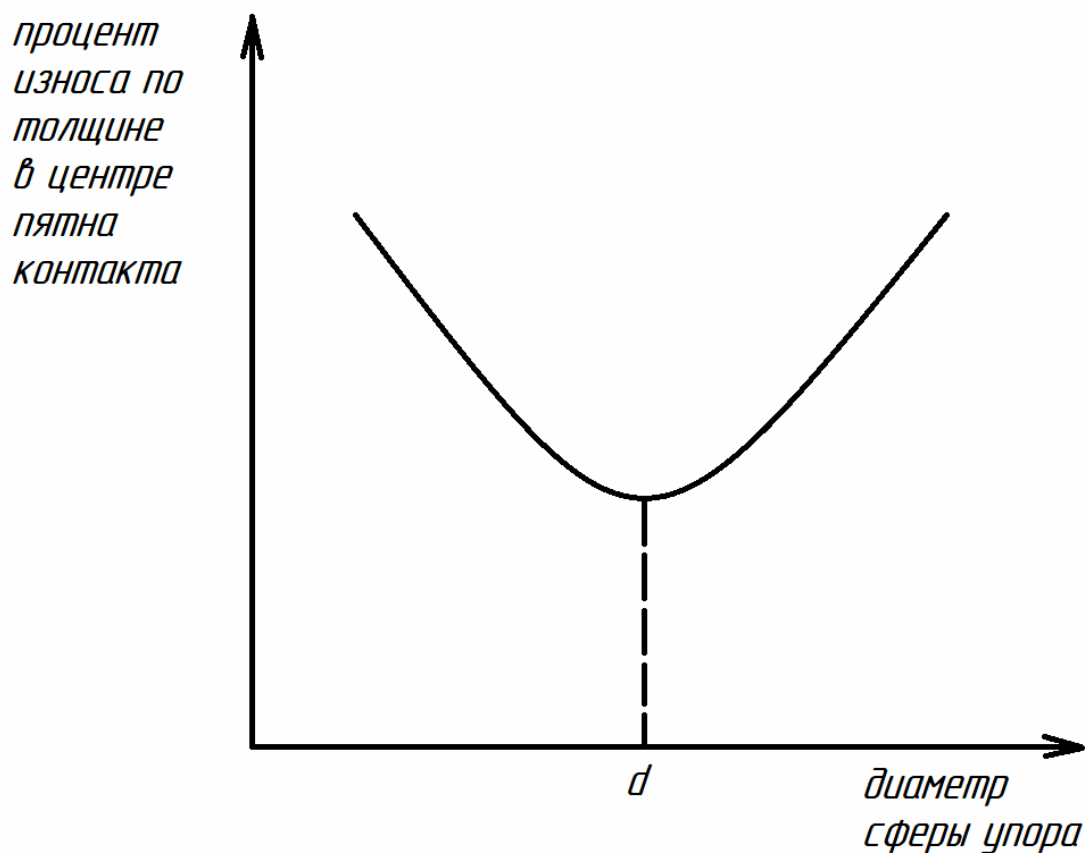


Рис. 3. График зависимости процента износа МДО-покрытия на поверхности площадки по толщине в центре пятна контакта от диаметра сферы упора

С ростом диаметра сферы упора усилие, оказываемое на МДО-покрытие от затяжки упора, распределяется на большую площадь вследствие увеличения диаметра пятна контакта, что приводит к снижению процента износа МДО-покрытия по толщине в центре пятна контакта, достигая некоторого минимального значения при оптимальном диаметре сферы упора d . Дальнейшее увеличение диаметра сферы упора ведёт к увеличению диаметра пятна контакта и задействованию в работе большей площади МДО-покрытия, которое в силу своей неоднородности по структуре (масштабный фактор) и склонности к распространению трещин в кристаллическом слое покрытия снижает свою несущую способность, что отражается на увеличении процента износа МДО-покрытия по толщине в центре пятна контакта.

5) В работе [3] есть указание о том, что керамикоподобные покрытия на алюминиевых сплавах хорошо работают в условиях фреттинга, но в условиях микроудара целостность не сохраняют. Данное положение подтверждается многочисленными экспериментальными наблюдениями (рис. 4–6).

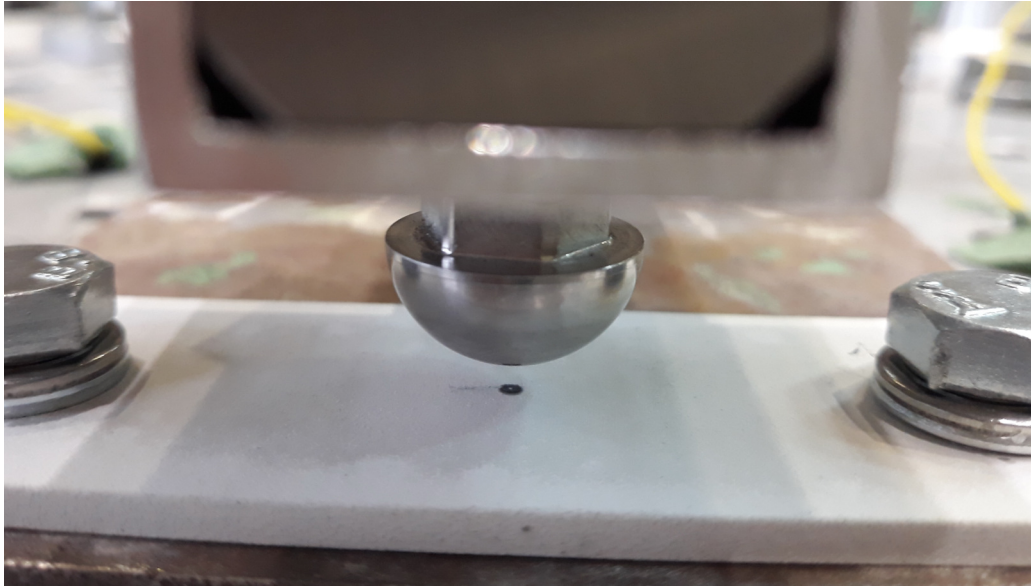


Рис. 4. Формирование зоны износа МДО-покрытия площадки в начальный период времени приложения вибрационной нагрузки по оси Z

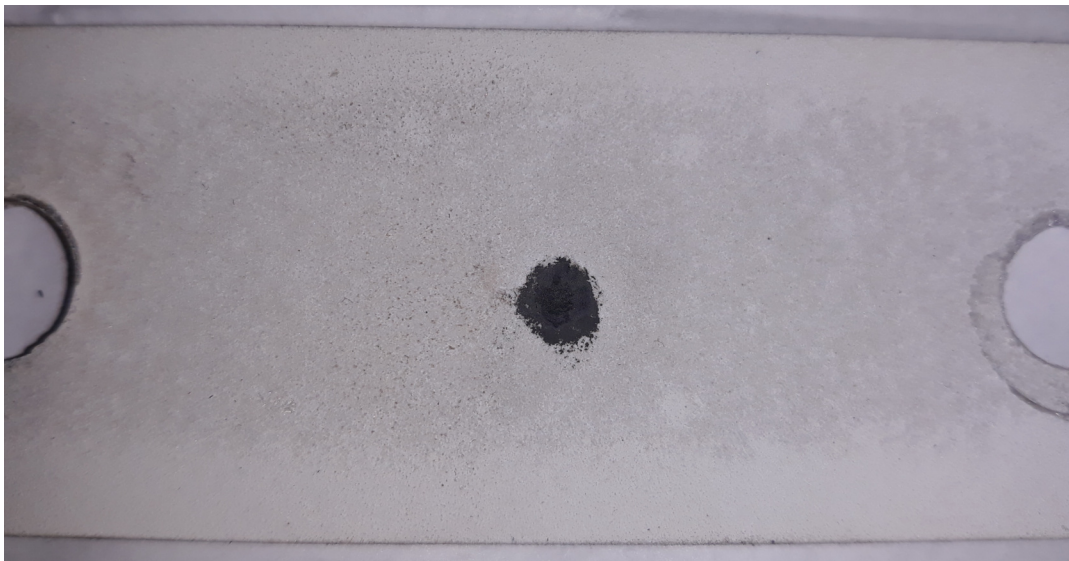


Рис. 5. Зона износа МДО-покрытия площадки после приложения вибрационной нагрузки по оси Z (вибрационная нагрузка соответствует выведению космического аппарата на целевую орбиту ракетой-носителем «Протон-М»)

В настоящее время отсутствует технология, позволяющая сформировать МДО-покрытие, неразрушаемое в процессе микроударного воздействия, возникающего при приложении вибрационной нагрузки по оси Z , соответствующей выведению космического аппарата на целевую орбиту ракетой-носителем «Протон-М». Поэтому для предотвращения контакта металлических поверхностей элементов распора узла раскрытия целесообразно использовать конструктивный приём формирования «жертвенного слоя» МДО-

покрытия, гарантированно поглощающего энергию микроударного воздействия поверхности упора.



Рис. 6. Шаржирование порошка, образовавшегося в процессе износа МДО-покрытия площадки, в контактирующую поверхность материала упора (сталь 20Х13)

Требования к материалу «жертвенного слоя»:

1. Толщина «жертвенного слоя» должна быть меньше общей толщины МДО-покрытия в зоне контакта поверхностей элементов распора (общая толщина МДО-покрытий на алюминиевых сплавах обычно не превышает 400 мкм [9]).

2. Материал «жертвенного слоя» должен препятствовать образованию трещин, доходящих до металлического материала подложки (площадки).

3. Материал «жертвенного слоя» в порошкообразном виде должен шаржироваться в контактирующую поверхность материала упора и сохраняться между поверхностями элементов распора всё время экспозиции узла раскрытия в транспортном положении.

4. Измельчённый материал «жертвенного слоя» должен иметь в своём составе достаточное количество керамических соединений, чтобы препятствовать возникновению эффекта «холодной сварки» контактирующих поверхностей элементов распора в течение экспозиции узла раскрытия в транспортном положении в условиях космического пространства.

Надёжность узлов раскрытия зачастую оказывает определяющее влияние на общую надёжность космического аппарата. Потому изучение особенностей их функционирования представляется важной и перспективной научно-технической задачей, решение которой напрямую связано с

созданием композитных материалов с заранее заданными свойствами, позволяющих работать в условиях, непригодных для любых компактных материалов. Дальнейшая наработка экспериментальных данных и обобщение эксплуатационного опыта позволит решать поставленные при конструировании узлов раскрытия космических аппаратов технические задачи с наименьшими затратами, конструкционной сложностью и с большей вероятностью безотказной работы.

Список литературы

[1]. Штокал А.О., Рыков Е.В., Добросовестнов К.Б., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Богачёв В.А. Пути повышения надёжности работы узлов раскрытия космических аппаратов с отложенным срабатыванием // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. — 2017. — № 4 (38). — С. 60–67.

[2]. Рыков Е.В., Штокал А.О., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Добросовестнов К.Б., Баженова О.П. Исследование стойкости твёрдого смазочного покрытия на основе дисульфида молибдена к фреттинг-износу в условиях вибрационного нагружения // Научно-технические вестники ИСМА. — 2019. — Т. 20. — № 2. — С. 40–47.

[3]. Merstallinger A., Sales M., Semerad E., Dunn B.D. Assessment of Cold Welding between Separable Contact Surfaces due to Impact and Fretting under Vacuum (ESA STM-279 November 2009). — ESA Communication Production Office, 2009. — 57 p.

[4]. Говорун Т.А., Шаталов В.К., Штокал А.О., Рыков Е.В., Добросовестнов К.Б., Баженова О.П., Богачёв В.А. Методы предотвращения холодной сварки контактирующих поверхностей узлов раскрытия космических аппаратов при длительном нахождении на целевой орбите // Научно-технические вестники ИСМА в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 18–20 апреля 2017 г. — Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — Т. 1. С. 28–33.

[5]. Штокал А.О., Рыков Е.В., Артемьев А.В., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Добросовестнов К.Б., Богачёв В.А., Баженова О.П. Изучение стойкости МДО-покрытия на алюминиевом сплаве Д16АТ в условиях виброударного нагружения // Научно-технические вестники ИСМА в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 16–18 апреля 2019 г. — Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. — Т. 1. С. 41–47.

[6] Штокал А.О. Методика проведения экспериментов по изучению стойкости МДО-покрытий к фреттинг-износу / А.О. Штокал, Е.В. Рыков, А.В. Артемьев, К.Б. Добросовестнов, Т.А. Говорун, В.К. Шаталов, В.А. Богачёв, О.П. Баженова // Научное наследие и развитие идей К.Э. Циолковского. Материалы 54-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Часть 2. — Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»), 2019. — С. 271–276.

[7] *Штокал А.О.* К вопросу о формировании МДО-покрытий, устойчивых к фреттингу и микроударному нагружению / А.О. Штокал, Е.В. Рыков, Т.А. Говорун, А.В. Артемьев, В.К. Шаталов, В.А. Богачев, О.П. Баженова, Д.В. Сергеев, В.Д. Демина // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 19–21 ноября 2019 г. — Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. — Т. 1. С. 13–20.

[8]. *Ляховецкий М.А.* Исследование износо- и фреттингостойкости оксидов алюминия и циркония, сформированных методом микродугового окисления для защиты элементов двигателей и энергоустановок: Автореф. дис. канд. техн. наук. — М., 2014. — 25 с.

[9]. *Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Борисов А.М., Крит Б.Л.* Микродуговое окисление (окончание) // Приборы. — 2001. — № 10. — С. 26–36.

Штокал Александр Олегович – ведущий конструктор сектора конструирования наземных систем, Канд. техн. наук Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга. E-mail: cuauthemos1@yandex.ru

Рыков Евгений Валентинович – начальник сектора конструирования наземных систем Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга. E-mail: rik@laspace.ru

Артемьев Артем Валентинович – главный конструктор Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга. E-mail: arav@laspace.ru

Шаталов Валерий Константинович – заведующий кафедрой М5-КФ «Материаловедение и химия», профессор, д-р техн. наук Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vkshatalov@yandex.ru

Богачёв Вячеслав Алексеевич – начальник отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО «НПО Лавочкина». E-mail: tribolab@laspace.ru

Баженова Ольга Петровна – начальник сектора отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО «НПО Лавочкина». E-mail: bazhenova_laspace@mail.ru

Рожкова Татьяна Владимировна – начальник металлографической лаборатории АО «НПО Лавочкина». E-mail: rojкова_t@list.ru

Сергеев Даниил Владимирович – инженер-конструктор II кат. отдела бортовых целевых комплексов, Канд. техн. наук АО «НПО Лавочкина». E-mail: sdv@laspace.ru

Демина Виктория Денисовна – инженер-технолог отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО «НПО Лавочкина». E-mail: vishnj10100@mail.ru

ОТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИЕ

В данном тезисе рассмотрим отделочную обработку наружных цилиндрических поверхностей. Чем сильнее увеличивается производительность на предприятиях, тем сильнее увеличивается нагрузка на детали, происходит прямая зависимость. Повышая, скорость движения их друг относительно друга, повышаются и требования к качеству и состоянию поверхности обрабатываемой детали. Отделочный этап чаще всего применяют для улучшения точности поверхности. При этом этапе снимается маленький припуск за счет допуска на окончательный размер обрабатываемой поверхности. Отделка влечет за собой малую силу резания, несущественный нагрев поверхности, небольшую толщину срезаемого металла. Следует отметить, что в результате отделки поверхностный слой, помимо всего прочего приобретает нужные физические и механические свойства. Все технические работники должны знать и понимать, что каждому изделию свойственны свои строгие эксплуатационные свойства. К ним относят: долговечность, прочность, коррозионностойкость, износостойкость и многие другие. Данные свойства помимо материала зависят и от других факторов. Одним из таких факторов является шероховатость поверхности, и вот для того, чтобы получить требуемые шероховатость поверхности чаще всего применяют отделочные операции. К отделочным операциям относят обработку различным специальным инструментом, начиная от резцов и заканчивая хонингом.

К отделки относят такие операции как: опиливание, полирование абразивной шкуркой, тонкое точение, притирку, шлифование, суперфиниширование, упрочняющую обработку поверхности шариком, хонингование.

Начнем с опиливания, обычное слесарное опиливание не составляет особого труда, с помощью напильника или других похожих инструментов, но машиностроение не стоит на месте и сейчас частое использование получили электрические или пневматические опилочные станки. Данное оборудование позволяет увеличить производительность в два раза, при этом не нуждаясь в увеличении персонала. Основные задачи опилочки зачистить поверхность от заусенцев, сделать технологические фаски, подогнать размеры в случае, когда они получились больше заданных. Следующей обработкой рассмотрим полировку абразивной шкуркой, благодаря ей полируемую поверхность можно довести до блеска и лучше подготовить к нанесению требуемого покрытия. Самый простой способ полировки это механический с помощью абразива с применением специальной пасты. Для каждой марки материала своя абразивная шкурка. Для получения высшей чистоты поверхности обработку выполняют на больших оборотах. Хоть этот метод прост и не требует существенных затрат, его недостаток в том, что его трудно автоматизировать. Далее рассмотрим тонкое точение, которое часто

используют вместо шлифования и наоборот (рис 1). Сущность метода в том, что снимается тончайший слой металла при маленькой подаче, но большой скорости резания, используя для этого специальные токарные машины. Лучше всего тонкое точение подходит материалам из цветных металлов и чугунов [3].

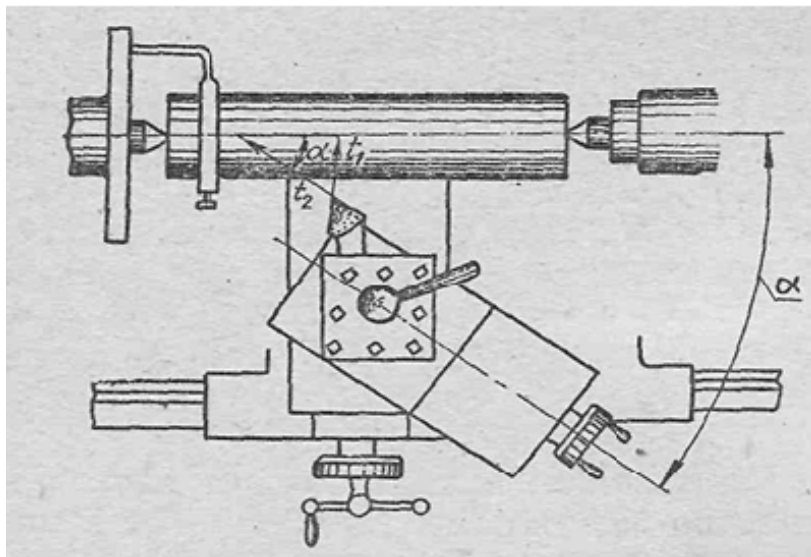


Рис. 1. Схема тонкого точения

Притирка, метод осуществляемый при помощи притиров, она способствует улучшению шероховатости поверхности, класс чистоты, и подводит размеры под требуемые. Метод притирки в основном применяют при сборке, для обеспечения лучшей герметичности, лучшего хода соединениям. Притирку можно осуществлять также механически и на оборудовании. Стоит учитывать, что класс чистоты перед притиркой должен быть не менее 7-го и 8-го классов. Чистовая упрочняющая обработка поверхности при помощи шарика, применяют для минимизирования износа и повышения времени применения изделия (рис 2). Перед обкаткой деталью должна быть обработана по 5-му классу чистоты. В основном применяют как альтернативу полировке [7].

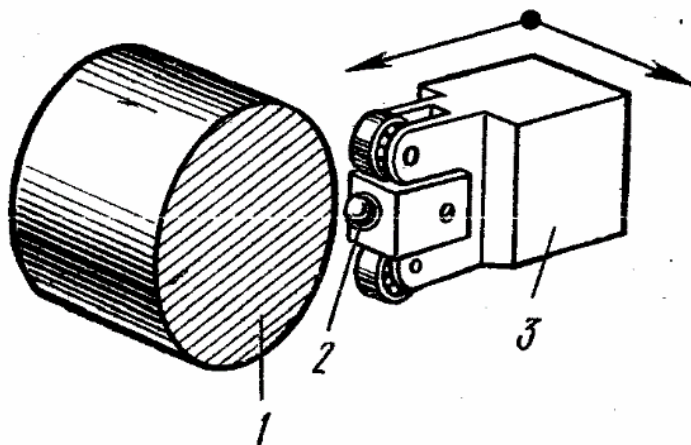


Рис. 2. Схема чистовой упрочняющей обработки шариком

Шлифование, самый распространенный метод обработки, при малом значении припуска является окончательной обработкой. Шлифованием в свою очередь можно заменить тонкое точение, либо осуществить обдирочную шлифовку вместо токарной обработки. Обрабатывать шлифовкой можно практически любой материал, при правильном подборе круга. Хонингование наружных поверхностей, повышает прочность поверхности и долговечность изделия, высокая скорость выполнения работ, минимальный брак по форме. Чаще всего применяют для отверстий, только хонингованием можно обработать блок цилиндра. Суперфиниширование позволяет, убрать волнистость, улучшить поверхностный слой, не изменяя структур, но при этом суперфинишем нельзя изменить форму предмета труда (рис 3). Применяют для важных и ответственных изделий [1].

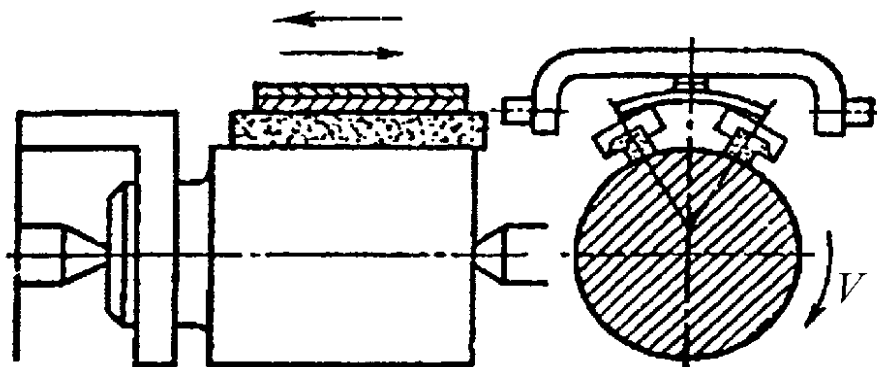


Рис. 3. Схема суперфиниширования

Марка моего материала Сталь 12ХН3А, которая является углеродистой легированной сталью, которая содержит 0,12% углерода, 1% хрома, 3% никеля, А означает что сталь высокого качества. Рассматривая имеющуюся сталь, для выбранных операций можно смело сказать, что тонкое точение применяется в основном для деталей из цветного материала, так как шлифовальный круг в этом случае быстро засаливается. Можно сделать вывод, что в случае с шероховатостью $R = 0,63$ мкм и при остальных факторах: материала заготовки, обрабатываемой длины и диаметра, простоты режущего инструмента целесообразней применить круглое шлифование на кругло-шлифовальном станке с ЧПУ. Также шлифованием получаем более высокое качество и точность обрабатываемой поверхности. Отсутствие заусенцев не мало важный факт, так как отсутствует необходимость их снятия и еще не остаются следу стружки.

Список литературы

[1]. *Технология машиностроения*. В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.

[2]. *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с.

[3]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[4]. *Блюменштейн В.Ю., Клепцов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

[5]. *Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б.* Проектирование технологической оснастки в машиностроении. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2013. 304 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.

[6]. *Экономическое обоснование технических решений на машиностроительных предприятиях.* /Под редакцией С.Г. Пуртова, С.В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 2009. 240 с.

[7]. *Пахомов Д. С.* Технология машиностроения. Изготовление деталей машин : учебное пособие / Д. С. Пахомов, Е. А. Куликова, А. Б. Чуваков. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 412 с. — ISBN 978-5-4497-0170-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/89502.html> (дата обращения: 5.03.2020).

Платонов Владислав Вадимович – студент ТМД.Б-81, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vladplatonovchills@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ВАЛ» КОВКОЙ НА МОЛОТАХ И РОТАЦИОННЫМ ОБЖАТИЕМ

В промышленности, использование процессов обработки металлов давлением, является наиболее распространённым способом, так как при помощи данных методов обработки, можно получить заготовки или детали нужной формы и размеров, используя пластическое деформирование самого металла. Благодаря этому, обработка давлением, в машиностроении, рассматривается как основной метод получения изделий.

На сегодняшний день, обработка материалов давлением является наиболее распространённой, так как при ней получают заготовки близкие по форме и конфигурации к готовой детали, что существенно сказывается на экономии материала.

Получение заготовок ковкой. Одним из давно используемых способов обработки металлов давлением, являетсяковка. В результате свободного течения металла в стороны, перпендикулярные движению деформирующего инструмента происходит процесс формоизменения исходной заготовки. При данном методе, в качестве инструмента, используются плоские, а иногда и фигурные бойки. Также иногда применяют различный прикладной инструмент.

Заготовки, получаемые ковкой, в дальнейшем используются для механической обработки, в основном, в единичном и серийном производстве.

В качестве оборудования дляковки применяют различного рода пневматические молоты, паровоздушные молоты, а также гидравлические прессы. Молоты обычно используют приковке слитков небольших размеров и ковке катаных профилей, а прессы применяют чаще всего приковке слитков относительно больших размеров.

Учитывая низкий КИМ и не очень высокую производительность труда, по сравнению с другими методами получения заготовок,ковка отличается следующими преимуществами:

- 1) высокое качество металла поковок
- 2) Возможность получать поковки относительно больших размеров, изготовление которых другими способами не целесообразно или невозможно
- 3) Учитывая, что поковки куются по частям, то нет необходимости использовать прессы и молоты большой мощности
- 4) Нет необходимости в использовании специального оборудования, что дает возможность получать поковки с минимальными затратами времени.

Наряду с преимуществами можно выделить и недостатки данного метода:

- 1) Относительно низкая производительность по сравнению с получением заготовок штамповкой.

Точностные характеристики кованных заготовок

| Метод получения заготовки | Масса, т | Толщина стенки, мм | Форма заготовки | Квалитет | Шероховатость, мкм |
|---|------------|--------------------|--------------------------------|----------|--------------------|
| На прессах и молотах | До 350 | 20-25 | Простая, сложная | 15-16 | До 80 |
| На молотах в подкладных штампах | 10-7-0,015 | 30 | Простая, средней сложности | 15 | До 40 |
| На прессах | До 3 | — | То же | 15 | До 40 |
| На машинах с радиальным обжатием, горячая | До 0,5 | 30 | Гладкие и ступенчатые цилиндры | 8-9 | 20-40 |
| То же, холодная | До 0,3 | 5 | То же | 8-9 | 1,6—6,3 |

Можно выделить следующие этапы процессаковки: нагрев металла, выполнение кузнечных операций (обычно на одном молоте или прессе), первичная термообработка поковок.

Схема процессаковки является достаточной простой и состоит из следующих этапов:

1) предварительно нагретая в печи, до температурыковки, заготовка устанавливается на стол штампа;

2) падающие части (боек) формируют необходимую форму заготовки.

Если необходимо получить заготовки больших размеров, то ковку проводят в несколько приемов с промежуточным подогревом заготовки в печи

Технологический процессковки подразделяется на основные, вспомогательные и отделочные операции.

К основным относятся: осадка, протяжка, прошивка, обрубка, гибка и закручивание.

Использованием основных операций производится главное формоизменение. При помощи вспомогательных и отделочных операций выполняются функции подготовки и доработки до и после основных операций.

Получение заготовок ротационным обжатием

Согласно международному стандарту, ротационное обжатие это способ формования, в результате которого уменьшается поперечное сечение металлического стержня или трубы, при использовании формообразующего инструмента совершающего движения в радиальном и круговом направлении, относительно заготовки.

Данным способом, на специальном оборудовании, обрабатывают осесимметричные изделия. Можно заметить, что процесс ротационного обжатия напоминает операцию протяжки в вырезных ковочных бойках.

При ротационном обжатии усилия прилагаются к заготовке со всех сторон равномерно.

При данном методе происходит значительное увеличение предела прочности заготовки на растяжение. Благодаря этому, при помощи ротационного обжатия, используя первоначально материалы с достаточно низкими характеристиками, можно значительно увеличить работоспособность заготовки, а также получить значительную экономическую выгоду.

Также, при получении заготовки данным методом, можно также обратить внимание на повышение предела прочности при изгибе при знакопеременных нагрузках.

Одним из преимуществ является то, что для деталей полученных ротационным обжатием, обычно не нужна последующая термообработка.

Детали, полученные данным методом, являются достаточно точными и имеют очень низкую шероховатость.

Этот метод достаточно молодой.

В основном обрабатываются детали круглого сечения, а также детали другой формы, которые в последующем получают сечение круглой формы.

Детали, имеющие внутреннее отверстие обжимаются на дорне и далее снабжаются необходимым внутренним профилем.

Таблица 2.

Величины, характеризующие точность ротационного обжатия

| Диаметр поковки, мм | | Обработка | Отклонение размеров после обработки, мкм | |
|----------------------|------------------------|------------|--|-----------------------------------|
| Наружный диаметр, мм | Внутренний диаметр, мм | | По наружному диаметру | Непрямолинейность на 100 мм длины |
| 60 | 0 | С нагревом | ±100...200 | ±50 |
| 63.5 | 0 | Вхолодную | ±25 | 30 |
| 12,7 | 0 | Вхолодную | ±20...25 | 30 |

Список литературы

[1] *Дальский А.М.* Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

[2] *Колмогоров В.Л.* Механика обработки металлов давлением. - М.: Металлургия, 1986. 688 с.

[3] *Технология машиностроения.* В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.

[4] *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для студ.вышш. учеб.заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с

[5] *Экономическое обоснование технических решений на машиностроительных предприятиях.* /Под редакцией С.Г. Пуртова, С.В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 2009. 240 с.

[6] *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[7] *Блюментейн В.Ю., Клепцов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

Касумов Николай Сергеевич – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: nikolay-kasumov@mail.ru

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ БАЗИРОВАНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ПЛОСКОСТИ И ОТВЕРСТИЯМ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ОСЯМИ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫМИ К ПЛОСКОСТИ

Установка заготовки по двум цилиндрическим отверстиям с параллельными осями и на перпендикулярную к этим осям плоскость, используется при обработке деталей типа корпусов и плит.

Наличие зазоров в сопряжении «палец–базовое отверстие» (рис. 1) задаёт погрешность такой установке. Погрешности возникающие, при обработке партии деталей с применением указанного способа базирования, появляются из-за наличия погрешности в установке. Они особенно заметны при выполнении, чистовых операций.

Такие погрешности обработки, как: смещение осей растачиваемых отверстий, не параллельность расположения поверхностей и т.д., возникают из-за проворачивания заготовок, за счет зазоров в сопряжениях $\Delta_{ц. max}$, $\Delta_{ср. max}$. В пределах этих зазоров заготовки при установке занимают случайные положения.

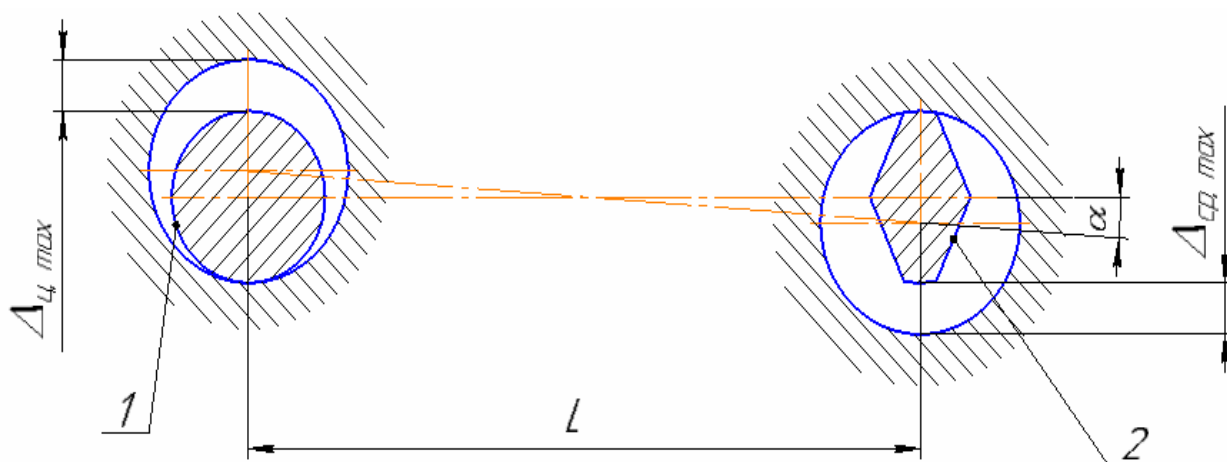


Рис. 1. Сопряжение «палец – базовое отверстие»

Возможный угол поворота заготовки:

$$tg\alpha = \frac{(\Delta_{ц. max} + \Delta_{ср. max})}{L}, \quad (1)$$

где – наибольший радиальный зазор между цилиндрическим пальцем 1 и базовым отверстием; – наибольший радиальный зазор между срезанным пальцем 2 и поверхностью отверстия; L - расстояние между центрами базовых отверстий. [1–4].

При эксплуатации приспособлений установочные пальцы изнашиваются в результате чего, увеличиваются зазоры и погрешности обработки.

Погрешности обработки могут быть исключены за счет применения специальных управляемых установочных пальцев, выбирающих зазоры в сопряжениях [5].

Для уменьшения влияния погрешностей на обработку при указанном способе базирования, сокращения влияния износа установочных элементов на точность обработки, в крупно серийном и массовом производстве, а также при обработке ответственных поверхностей с базированием по двум отверстиям и плоскости, наиболее технологичным способом, является установка на специальные установочные пальцы.

Их преимущества заключаются в возможности соблюдения постоянства баз на большинстве операций технологического процесса и относительно простой передачи и фиксации заготовок на поточных и автоматических линиях, с возможностью выбора зазора, тем самым устраняя погрешность приспособления.

Список литературы

[1]. *Дальский А.М.* Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

[2]. *Зубарев Ю.М.* Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении [Электронный ресурс] // учебник Санкт-Петербург: Лань, 2015. 320 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/61360> (дата обращения: 18.12.2019).

[3]. *Корона А.Б.* Приспособления для механической обработки металлов: учебник. М.: Всесоюзное кооперативное изд-во, 1955. 336 с.

[4]. *Насыров Ш., Корнипаева А.А., Каменев С.В.* Технологическая оснастка [Электронный ресурс] // практикум. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». Оренбург: ОГУ, 2013. 127 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259284> (дата обращения: 26.12.2019).

[5]. *Брюханов В.Н.* Теория автоматического управления / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. учеб. для машино-Т33 строит. спец. вузов. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк.; 2000. 268 с.

Яшкин Константин Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kostyayashkin@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ЛИТЬЕМ В КОКИЛЬ И ОЦЕНКА ЕЕ КОНСТРУКЦИИ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Литейное производство является заготовительной базой машиностроения, авиационно-космической отрасли, военно-промышленного комплекса [4]. Литье находит широкое применение в изготовлении фасонных деталей массой от нескольких грамм до сотен тонн. У многих изделий (двигатели внутреннего сгорания, турбины, компрессоры, металлорежущие станки и т.д.) масса литых деталей составляет 60-80% от их общей массы.

В зависимости от числа заливок в формы, существующие способы литья можно разделить на две группы:

1. Литье в разовые формы
2. Литье в многократно используемые формы

Литье в разовые формы. Литье в песчаные формы (ПФ) - самый распространенный способ литья. В машиностроении им изготавливают 75-80% отливок (по массе). Изготовление форм (формовка) выполняется путем уплотнения формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание ей нужной прочности.

Литье по выплавляемым моделям (ВМ) является технологическим процессом, для реализации которого применяют цельные модели из легкоплавких материалов на основе парафина, полистирола или других термопластичных полимеров. Это самый сложный, длительный и трудоемкий способ литья.

Технологические особенности литья в оболочковые формы (ОФ) состоят в том, что необходимо изготавливать с помощью нагретой металлической плиты две полуформы толщиной 6...20 мм из формовочной смеси, состоящей из песка и фенолформальдегидной смолы в качестве связующего. Готовые оболочковые полуформы соединяют быстротвердеющим клеем на специальных прессах или скрепляют скобами, предварительно установив в них литейные стержни.

Рассмотренные способы литья имеют одну общую черту - литейные формы являются одноразовыми и затраты на их изготовление полностью переносятся на стоимость детали. Поэтому в промышленности применяют многократно используемые формы. [2]

Литье в многократно используемые формы. Центробежное литье (Ц) заключается в заливке жидкого металла во вращающуюся форму (изложницу), которая вращается до окончания кристаллизации металла. Этим способом литья изготавливают заготовки с точностью размеров соответствующим 6...14 качеству, а шероховатость поверхностей – Ra80...20мкм.

За счет вращения изложницы достигается большая плотность металла отливки, повышается жидкотекучесть, практически отсутствуют затраты на изготовление стержней. При этом способе литья значительно снижается рас-

ход металла, так как отсутствуют или очень мала литниковая система. В результате действия центробежных сил примеси, неметаллические включения скапливаются на внутренней поверхности отливки и могут быть удалены механической обработкой.

Литье под давлением (Д) основано на том, что жидкий металл под давлением с большой скоростью заполняет полость металлической пресс-формы и кристаллизуется. Приложение давления способствует лучшей заполняемости литейной формы, повышает точность размеров отливок, уменьшает шероховатость их поверхности в результате более плотного их контакта с формой и позволяет получать более сложные тонкостенные отливки [3]. В связи с этим можно отлить заготовки толщиной стенок до 0,5 мм, точность размеров которых соответствует 3...8 качеству, а шероховатость поверхности - Ra 10...2,5 мкм.

Литье в кокиль (К) заключается в использовании металлической формы - кокиля, который может быть изготовлен и собран с высокой точностью. Высокая стойкость чугунных кокилей в значительной мере окупается их высокой стойкостью: они выдерживают до 8...10 тысяч заливок медных сплавов; десятки и сотни тысяч заливок алюминиевых и магниевых сплавов; 50...500 стальных отливок и 4000...8000 отливок из чугуна.

Литьём в кокиль получают отливки со стабильными и точными размерами (4...11 качество), при этом параметр шероховатости может достигать Ra40...10мкм. В связи с большой теплопроводностью материала формы скорость кристаллизации велика. Это повышает механические свойства отливки, за счет получения мелкозернистой структуры, на 10-15%, но затрудняет изготовление отливок с тонкими стенками.

Части кокиля крепятся непосредственно на монтажной плите или с применением монтажных мостиков либо только на монтажных плитах. [1]

В данной работе приводится пример разработки технологических операций для изготовления детали, имеющей широкое применение – крышки, способом литья в кокиль. Крышки предназначены для изоляции различных механизмов от внешних факторов окружающей среды. В частности, попадания пыли, мусора и влаги, способствующей нарушению нормального функционирования элементов механизма. Данная деталь является крышкой, изготовленной из стали 40ХН ГОСТ 4543-71 «Прокат из легированной конструкционной стали».

Чертеж детали представлена на рис. 1.

Выполнена оценка конструкции детали на технологичность: Разрабатываемое изделие технологично:

1. Деталь жесткая.
2. Наличие удобных технологических баз.
3. Материал заготовки 40ХН ГОСТ 4543-71 отвечает требованиям технологии изготовления: при изготовлении нет необходимости применять сложные технологические процессы изготовления детали; для хранения материала нет необходимости создавать определенные условия хранения и транспортировки.

4. Деталь состоит из стандартных и унифицированных конструктивных элементов: диаметральных и линейных размеров. Это способствует использованию стандартных режущих и измерительных инструментов.

5. Шероховатость базовых поверхностей удовлетворяет требованиям точности установки детали, ее обработки и контроля.

6. Деталь обладает осью симметрии.

Таким образом, деталь технологична.

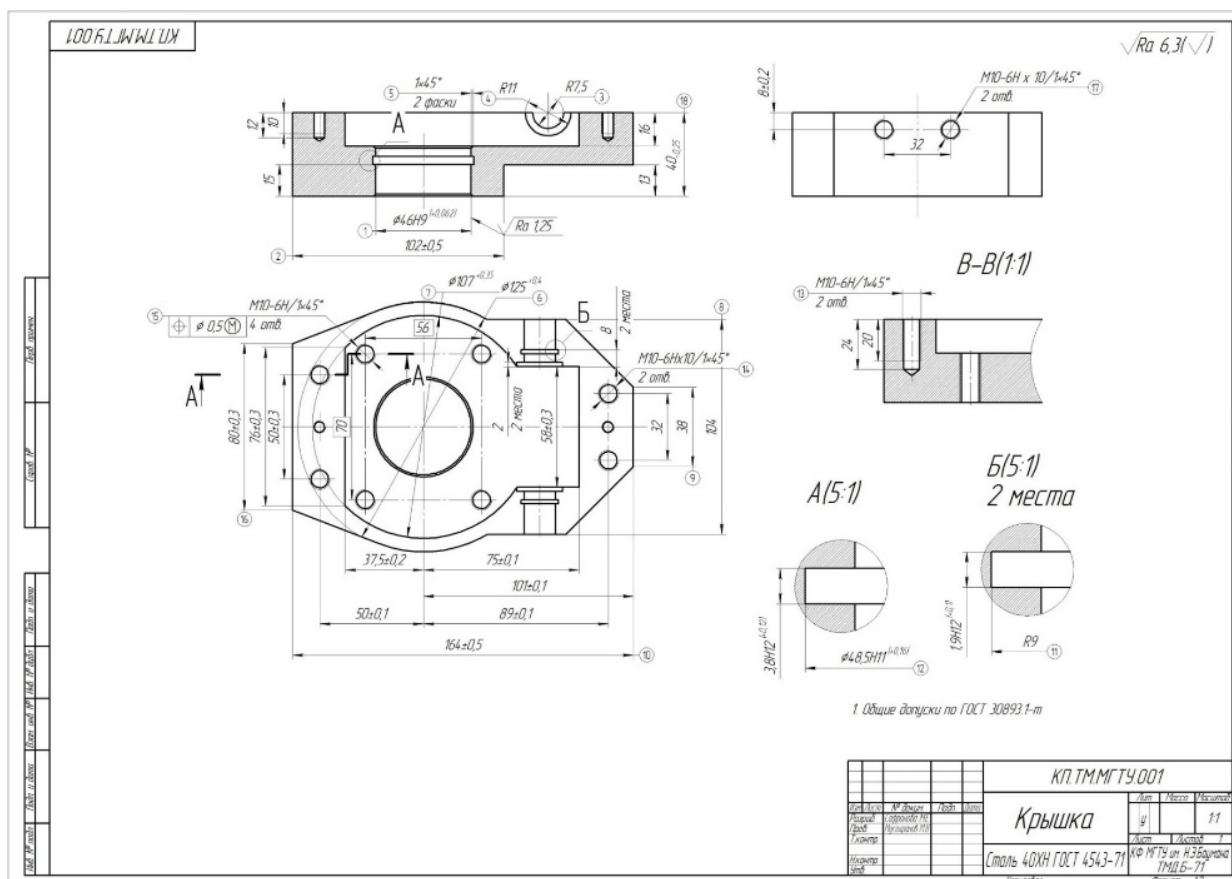


Рис. 1. Чертеж детали

Список литературы

[1]. ГОСТ 27713-88 (СТ СЭВ 5929-87) Литейное оборудование. Машины для литья в кокиль. Присоединительные размеры крепления кокилей

[2]. Третьяков А.Ф. Лекции по дисциплине ТКМ. – МГТУ им. Н.Э. Баумана.

[3]. Зубарев Ю.М. Методы получения заготовок в машиностроении и расчет припусков на их обработку: учебное пособие / Ю.М. Зубарев. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1995-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72581> (дата обращения: 19.11.2019).

[4]. Точное литье в керамическую форму – высокоэффективный способ изготовления отливок сложной формы. / Б.И. Уваров, П.Е. Лущик, А.А. Андриц [и др.] // Литье и металлургия. — 2016. — № 4. — С. 23-27. — ISSN 1683-6065. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

— URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/300274> (дата обращения: 29.10.2019).

Сафронова Мария Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: svetlaya.dom@mail.ru

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЛИТЬЯ. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Из многих специальных методов литья огромное распространение получил процесс производства отливок по газифицируемым моделям.

Данный способ используется в единичном, в серийном и массовом производствах отливок из множества различных сплавов, масса которых может быть в пределах нескольких грамм до десятков тонн.

Разновидности процесса производства отливок по газифицируемым моделям главным образом отличаются друг от друга методом изготовления литейной формы. Выбор метода производства зависит от: требований к точности и качеству литья, типа производства, сложности и массы отливки.

При литье по газифицируемым моделям, в отличие от других способов литья в неразъемные формы, модель газифицируется (удаляется) во время заливки металла в форму. В данном случае происходит вытеснение модели, которая под действием расплавленного металла испаряется, и металл свободно протекает в полость формы.

Технологический процесс главным образом сводится к получению модели из пенополистирола. В другом случае, для массового и крупносерийного производства применяются пресс-формы с использованием полистирола в виде суспензии (под вспененные гранулы). В мелкосерийном и единичном производстве используется механическая обработка плит из пенополистирола (рис. 1). Модели со сложной конфигурацией изготавливаются по частям

Сравнивая изготовление отливок по газифицируемым моделям и традиционными методами литья, можно установить, что литье по газифицируемым моделям более прогрессивен, исходя из требований к литейной форме

Главным преимуществом является то, что модели изготовленные из пенополистирола после формовки не подлежат удалению, и во время заливки расплавленного металла газифицируются. Это преимущество позволяет увеличить точность отливок (2-5 раз), так как отсутствуют формовочные уклоны, уменьшается припуск на механическую обработку, масса отливок уменьшается на 10-12%.

Трудоемкость литья при использовании данного способа в единичном производстве снижается на 10-20%, при серийном производстве на 40-60%. Также сокращается цикл производства и себестоимость. Повышается точность отливки в отсутствие стержней. Литье по газифицируемым моделям позволяет воспроизвести внутреннюю конфигурацию отливки полностью в модели.

Использование процесса ЛГМ в производстве позволит выполнять литые детали высокого качества с необходимым уровнем свойств при значительном снижении брака.

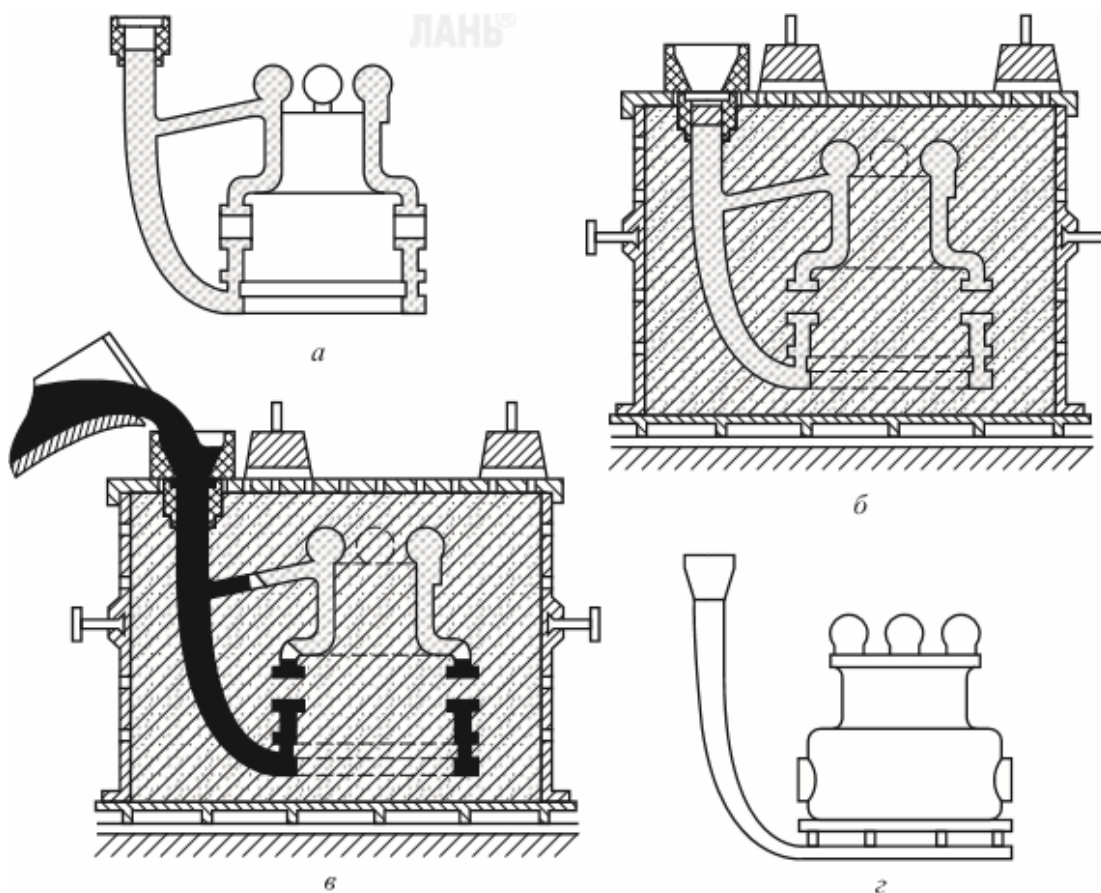


Рис. 1. Получение оливки литьем по газифицируемой модели:
а – модель отливки из пенополистирола; *б* – форма;
в – заливка формы жидким металлом и газификация модели;
г – отливка с литниковой системой

Список литературы

- [1]. *Технология машиностроения*. В 2 т. Т. 2. Производство машин: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 368 с.
- [2]. *Шандров Б.В.* Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с.
- [3]. *Дальский А.М.* Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
- [4]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. Москва: Машиностроение, 2013. 567 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.
- [5]. *Блюментейн В.Ю., Клецов А.А.* Проектирование технологической оснастки. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Лань, 2011. 224 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=628.

Косян Михаил Михакович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
 E-mail: litunovsky.n@yandex.ru

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛИТЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛИ ТИПА «НАПРАВЛЯЮЩАЯ ШТОКА»

В рамках курсового проекта необходимо выбрать, исходя из достоинств и недостатков, метод литья, обеспечивающий все необходимые свойства и особенности детали.

Как известно, существует множество методов литья. Каждый метод имеет свои недостатки и преимущества, отличается так же и способом получения заготовки, габаритов, точности, шероховатости исходной заготовки. Необходимо помнить, что в рамках курсового проекта необходимо обеспечить серийность производства. Сравнивая отличия, недостатки и преимущества и при этом обеспечивая должную серийность для производства заготовки под последующую механическую обработку, необходимо выбрать максимально эффективный и экономически выгодный метод литья.

Литье в песчано-глинистые формы, литье в кокиль, литье в оболочковые формы наиболее приемлемы, исходя из обеспечения свойств и серийности для детали в рамках курсового проекта.

Сущность метода литья в оболочковые формы. Литье в оболочковые формы — это способ получения отливок свободной заливкой расплава в формы из термореактивных смесей.

К достоинствам данного способа можно отнести технологию изготовления форм, так как они отличаются от емкостей, применяемых другими способами тем, что сравнительно прочнее, податливее, имеют так же хорошую газопроницаемость. Детали, отлитые в оболочковые формы, имеют в 1,5 раза меньший припуск на механическую обработку.

Оболочковые формы изготавливают из формовочных песчано-смоляных смесей с термопластичными или термореактивными связующими смолами.

Сущность литья заключается в том, что две полуформы соединяют специальным клеем на прессах, предварительно вставив в них стержни для будущих отверстий. После затвердевания отливку охлаждают и выбивают из формы. Выбивают отливку на специальных установках. Отливки отличаются высокой точностью и низкую шероховатостью поверхности, что, в свою очередь, так же является преимуществом способа литья в оболочковые формы. У большинства отливок недостатком является появление литейной корки, в следствии высокой шероховатости, но данный способ при низкой шероховатости снижает последующую механическую обработку, ввиду уменьшения литейной корки.

Основным недостатком данного способа литья является сравнительно высокая стоимость фенолформальдегидных смол, которые являются основой связующего вещества.

Область применения данного метода в основном машиностроение, получают при этом различные виды и размеры деталей типа втулки, муфты,

фланцы, так же этот метод применяют для получения тонкостенных отливок, но применяют такие материалы, как алюминий и чугун.

Литье в песчано-глинистые формы металлические. Литье в разовые песчано-глинистые формы является наиболее распространенным и относительно простым способом получения отливок. Разовые песчано-глинистые формы могут быть приготовлены либо непосредственно в почве по шаблонам, либо в специальных ящиках-опоках по моделям. В почве получают отливки крупногабаритных деталей (станин, колонн и т.д.), более мелкие отливки обычно получают в опочных формах.

Большую часть отливок изготавливают именно этим способом. Применяют ручную и машинную формовку для уплотнения смеси, чтобы получить наиболее точную по форме модель. Одним из преимуществ данного способа является то, что данным способом получают заготовки массой до нескольких сотен тонн. В основном его применение сводится к серийному и единичному производству. Применяется данный способ для получения корпусов, втулок, редукторов и др.

Помимо преимуществ у данного способа есть и недостатки: высокая шероховатость полученной поверхности, возможность пригара, низкая точность отдельных частей формы, в следствии их раздельной сборки. Так же к недостаткам можно отнести сложность изготовления тонкостенных отливок, так же выполнения отверстий малого диаметра. Для того, чтобы избежать данных недостатков, рекомендуется применять специальные способы литья.

Литье в кокиль. Литье в кокиль – это такое литье, которое осуществляется свободной заливкой кокиля. Кокиль, в свою очередь – металлическая форма, в которую заливают расплавленный металл.

Кокиль, как и большинство других емкостей для заполнения металла, состоит из двух полуформ, отверстия формируются специальными стержнями. Заливка расплавленного металла происходит через литниковую систему.

При проектировании кокилей необходимо прежде учесть марку заполняемого расплавленного металла, так как от этого зависит материал, из которого будет изготовлен кокиль, исходя из необходимой прочности, стойкости под последующую заливку.

Данный способ литья обладает своими недостатками и преимуществами. К преимуществам можно отнести качество получаемой поверхности, так же, при сравнении с литьем в песчаные формы, точность за счет применяемых стержней сравнительно выше. К недостаткам можно отнести то, что несмотря на то, что кокиль обладает высокой стойкостью, в свою очередь, оснастка ограничена по стойкости, что при литье необходимо учитывать.

Технологические возможности основных способов литья. Сравнительный анализ проведем в форме таблиц и сделаем вывод по способам литья.

Технологические возможности способов литья

| Способ литья | Материал отливок | Форма и размеры | Точность (кавалитеты) шероховатость (Rz, мкм) | Области применения |
|---------------------------------|------------------------------------|--|---|--|
| Литье в песчано-глинистые формы | Чугун, сталь, редкоцветные металлы | Крупногабаритные, сложной формы | Грубее 14 кв., ;300 | Все отрасли машиностроения, от массового до единичного производства |
| Литье в кокиль | Алюминиевые и медные сплавы | Масса до 250 кг, форма ограничена условиями извлечения отливки из кокиля | 12..14 кв, Rz >40 | Серийное и массовое производство |
| Литье по выплавляемым моделям | Сталь, спец. сплавы, медные сплавы | Форма не ограничена, масса до 10кг, в худож. литье не ограничена | 10...14кв., Rz =2,5...40 | Серийное производство сложных по форме изделий, в том числе из тугоплавких сплавов |

Заключение. Подводя итоги, каждый способ литья в том или ином случае целесообразен для получения заготовки типа «направляющая штока», что является основой данной научно-исследовательской работы.

Способ литья в кокиль целесообразнее для изготовления заготовки, исходя из таблицы 1 и данных, приведенных в ней, и необходимых параметров заготовки, а также типа производства. Экономически оправданная серийность, которая равна 2000 шт/год, является так же одним из преимуществ литья в кокиль, помимо сравнительно высокой точности отливки и обеспечения шероховатости в пределах Ra = 40...10.

Необходимо при литье заготовки обеспечить отверстие, так как оно является одним из основных элементов детали, что так же можно получить одним из способов. Важным элементом так же является качество этой поверхности, так как после механической последующей обработки необходимо получить 8 квалитет по точности и Ra 1,6 мкм.

Безусловно, важным критерием является и стоимость изготовления заготовки, что в случае литья в кокиль, исходя из таблицы, принимает средние значения, но при этом литье в песчано-глинистые формы по себестоимости обходится дешевле, но в свою очередь является менее точным способом изготовления отливок.

Список литературы

[1]. *Кузнецов В.Г.* Технология литья [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов В.Г., Гарифуллин Ф.А., Дьяконов Г.С.— Электронные текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012.— 146 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62315.html>. — ЭБС «IPRbooks»

[2]. *Василевский П.Ф.* Технология стального литья. М., Машиностроение, 1974. - 408 с.

[3]. *Титов Н.Д., Степанов Ю.А.* Технологий литейного производства. М., Машиностроение, 1974. - 472 с.

Данил Клементьев – студент ТМД.Б-81, Бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kl19danil@gmail.com

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ДЕТАЛИ С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ

В специальной литературе, на протяжении более полувека, описывая перспективы развития машиностроения, показывают, что технологии будущего будут использовать процессы «выращивания» деталей. Одной из первых таких технологий стала порошковая металлургия. Она позволила как получать новые материалы, так и придавать известным материалам дополнительные свойства. Подобного рода технологии называют аддитивными, т.е. они позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели [1,2].

На сегодняшний день применение аддитивных технологий в машиностроении стоимость единичного и мелкосерийного производства высока, нет возможности удовлетворять индивидуальные потребности заказчиков. При углубленной интеграции аддитивных технологий в производство все эти проблемы будут решены. Рассмотрим преимущества внедрения этого метода в машиностроение:

1. Уменьшить количество деталей, входящих в сборку, за счет возможности получения заготовок сложных конструкций и увеличить количество использованного материала (КИМ) по сравнению с традиционными методами получения заготовок, что приведёт к уменьшению затрат на обработку материала.

2. Увеличить гибкость производства, которая при применении этого типа гораздо выше, чем у традиционных, так как при переходе на новую партию деталей отсутствует необходимость в подготовке новой заготовки. Достаточно загрузить трехмерную модель детали и не придётся менять средства технического оснащения [3,4].

3. Переход к производству деталей с широкой номенклатурой. Следовательно, появится возможность удовлетворять как можно больше число индивидуальных заказов, потому что этот метод хорошо подходит единичному производству и может производить детали сложных сечений без процесса сборки.

4. Снижение количества брака на производстве, из-за уменьшения припусков и напусков при послойном «выращивании» детали, что в последствии уменьшит объём механической обработки.

5. Отсутствует необходимость в применении дополнительной оснастки, что повысит гибкость производства, по причине отсутствия необходимости в переналадке оборудования при производстве новых деталей.

6. Полная автоматизация процесса, так как всё производство проходит без вспомогательных действий со стороны оператора.

7. Значительное уменьшение объема отходов и т.п. [5,6].

Применение 3D-принтеров для печати деталей машин в ряде областей

успешно заменяет традиционные методы получения деталей. 3D-принтер представляет собой аналог станка с числовым программным управлением (ЧПУ), послойно «выращивающий» детали.

Сегодня 3D печать продолжает быстро развиваться. С помощью 3D-принтеров можно получить корпусные детали сложных сечений. Такие технологии успешно применяются в литейном производстве для печати литейных форм. А также существует много разновидностей материалов, из которых можно создать изделие.

Получение заготовок традиционными методами включает в себя ряд недостатков, таких как:

1. Коэффициент использования материала при механической обработке невысок из-за технологии получения заготовки и дальнейшей механической обработке;

2. Трудоёмкость изготовления детали сложной формы;

3. Низкая гибкость производства, которая заключается в изготовлении индивидуального технологического процесса под каждую деталь;

4. Заготовительный процесс включает в себя множество возможных дефектов, которые необходимо учитывать, такие как поры, трещины, усадочные раковины, перекося, заусенцы и так далее;

5. Точность полученных поверхностей не всегда удовлетворяет точности на чертеже, следовательно, необходима дальнейшая механическая обработка, что снижает производительность и увеличивает себестоимость заготовки [7].

На сегодняшний день актуальность использования технологии «выращивания» деталей высока, так как эта технология позволяет получать точные детали без использования механической обработки. Данный метод лучше использовать в единичном и мелкосерийном производстве, так как данный метод имеет высокую гибкость производства, что позволяет выпускать детали с широкой номенклатурой. На данный момент использование 3D-принтеров в массовом или многосерийном производстве не самый эффективный метод из-за низкой производительности и высокой стоимости оборудования.

Список литературы

[1]. *Travis M. Congressman Tim Ryan: NAMII and the Rise of Youngstown, Ohio* URL: <https://www.industryweek.com/emerging-technologies/congressman-tim-ryan-namii-and-rise-youngstown-ohio> (дата обращения 19.03.2020)

[2] *Могунов Ю.А., Саушкин Б.П.* Аддитивные технологии для авиакосмической техники [Электронный ресурс] URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-dlya-aviakosmicheskoy-tehniki.html> (дата обращения 19.03.2020)

[3] *Могунов Ю.А., Саушкин Б.П.* Аддитивные технологии для авиакосмической техники [Электронный ресурс] URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-dlya-aviakosmicheskoy-tehniki.html> (дата обращения 20.03.2020)

[4] *Журнал АТ* №1'2016, стр. 30-38 (дата обращения 28.03.2019)

[5] *ГОСТ Р 57558-2017*. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения(дата обращения 21.03.2020)

[6] *Шанерд В.* История возникновения 3D печати [Электронный ресурс]URL:https://cnc3dprinter.com/index.php?TM_TC=1&TM_TX=Istoriya_v_ozniknoveniya_3D_pechati (дата обращения 21.03.2020)

[7] *Кукушкин В.А.* Аддитивные технологии в машиностроении URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-mashinostroenii.html> (дата обращения 21.03.2020)

Илья Русланович Насевич – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: nasevich98@mail.ru

Прокофьева Ольга Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: prokofevaolya2016@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

На выбор метода и способа получения заготовки оказывают влияние эксплуатационные требования, применяемый материал, технические требования на изготовление, тип производства, конфигурация детали, возможности имеющегося оборудования.

Основные факторы, которые необходимо при этом учитывать:

1. Для получения качественных заготовок в первую очередь необходимо учитывать технологические свойства сплава (жидкотекучесть, пластичность и т.п.).

2. При выборе способа необходимо учитывать технологичность конструкции детали применительно к каждому из рассматриваемых способов.

3. По возможности всегда следует выбирать такой способ, который обеспечил бы в заготовке заданные точность и параметр шероховатости поверхности.

4. Специальные способы целесообразно применять при крупносерийном и массовом производствах, так как эти процессы экономически оправдывают себя только в том случае, если стоимость оборудования оснастки полностью окупается снижением расходов на механическую обработку.

Общая характеристика методов получения заготовок

Литьем получают заготовки фактически любых размеров простой и очень сложной конфигурации почти из всех металлов и сплавов, а также и из других материалов (пластмассы, керамики и т.д.). Качество отливки зависит от условий кристаллизации металла в форме, определяемых способом литья. В некоторых случаях внутри стенок отливок возможно образование дефектов (усадочные рыхлоты, пористость, трещины, получающиеся в горячем или холодном состоянии), которые часто обнаруживаются только после черновой механической обработки.

Обработкой металлов давлением получают кованные и штампованные заготовки. Ковка применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а также при изготовлении крупных, уникальных заготовок и заготовок с особо высокими требованиями к объемным свойствам материала. Штамповка позволяет получить заготовки близкие по конфигурации к готовой детали. Механические свойства заготовок, полученных обработкой давлением, выше, чем литых.

Сварные и комбинированные заготовки изготавливают из отдельных составных элементов, соединяемых между собой с помощью различных способов сварки. Неправильная конструкция заготовки или неверная технология

сварки могут привести к дефектам (коробление, пористость, внутренние напряжения), которые трудно исправить механической обработкой.

Заготовки, получаемые методами порошковой металлургии, по форме и размерам могут соответствовать готовым деталям и требуют незначительной, часто только отделочной обработки.

Таблица 1.

Общее сравнение различных способов литья

| Метод литья | Общая характеристика, область применения | Материалы отливок | Отличительные особенности | Тип производства |
|---|--|--|---|---|
| ПГФ | Получение средних и крупных отливок несложной конструкции. Простая технологическая оснастка, высокая трудоёмкость. | Чугун, сталь цветные металлы | Изготовление корпусных деталей. Минимальная толщина стенок: 3-6 мм, минимальный диаметр отверстий: 6мм | Единичное и серийное |
| Литьё по выплавляемым моделям | Применяется при механизированном производстве небольших и средних отливок любой сложности с минимальной последующей обработкой. | Из трудно-обрабатываемых или дорогих материалов | Метод позволяет обеспечить точную координацию размеров, литейная форма не имеет плоскости разъёма | Во всех типах производства |
| Литьё в металлические формы (кокили) | Применяется при производстве небольших и средних отливок несложной формы, изготовление сложных дорогостоящих литейных форм | Цветные и чёрные металлы | Хорошая теплопроводность кокиля обеспечивает мелкозернистую структуру отливки. | Серийное и массовое |
| Литьё с ЛКД (кристаллизацией под давлением) | Метод используется для механизированного высокопроизводительного изготовления небольших отливок с минимальной трудоёмкостью и минимальной обработкой | Сплавы цветных металлов с хорошими литейными свойствами и чёрные металлы | Корпусные детали сложной формы с резьбами, толщина стенок выше 6ти мм, минимальный диаметр отверстия: 2мм | Крупно-серийное и массовое производство |

Список литературы

- [1]. *Афонькин М.Г., Магницкая М.Р.* Производство заготовок в машиностроении. — Л.: Машиностроение, 1987. — 256 с.
- [2]. *Ефимов В.А.* Специальные способы литья. — М.: Машиностроение, 1991. — 436 с.
- [3]. *Батышев А.И.* Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. — М.: Металлургия, 1990. — 144 с.
- [4]. *Ефимов В.А., Эльдарханов А.С.* Современные технологии разлива и кристаллизации сплавов. — М.: Машиностроение, 1998. — 360 с.
- [5]. *Караник Ю.А.* Особенности изготовления отливок способом литья выжиманием с кристаллизацией под давлением в постоянных и разовых формах. — СПб.: Политехника, 2007. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9588853>
- [6]. *Пасечник Н.В., Белоусов И.Я.* Основные технологические параметры литья с кристаллизацией под давлением черных и цветных металлов. — М.: Фонд поддержки и развития Научно-производственного объединения «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», 2008. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=10607059>

Горбачев Владимир Васильевич – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: korvetalllike@gmail.com

СХЕМА ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ ОТВЕРСТИЙ С КООРДИНИРОВАННЫМИ ОСЯМИ

Погрешности обработки. Отклонение от соосности отверстий или параллельности оси отверстия плоскости зависит от следующих факторов погрешностей собственно метода обработки (увода при сверлении, копирования погрешностей при растачивании, погрешности обработки и установки плоскости, относительно которой определяют отклонение) и погрешностей станка. Наиболее существенное влияние оказывают такие погрешности станка, как погрешность позиционирования, включая погрешность, возникающую при повороте стола отклонение перемещений рабочих органов станка от заданной траектории.

Смещения, обусловленные упругими и температурными деформациями технологической системы, учитывают при определении погрешности метода обработки.

Чем больше силовые нагрузки, тем больше погрешности обработки деталей.

Погрешности обработки на станках с ЧПУ. При обработке на станках с ЧПУ имеются предпосылки достижения более высоких точностей, чем при обработке на станках с ручным управлением. Этот результат определяется как точностными особенностями станков, так и отличиями в построении технологического процесса. Немаловажно также снижение доли погрешностей, зависящих от исполнителя, в результате автоматизации процесса формообразования.

Погрешности обработки на станках с ЧПУ определяются следующими основными факторами: неточностью станков, включая ошибки интерполятора и режима интерполяции; погрешностями, заложенными в управляющих программах, из которых наиболее существенными являются погрешности аппроксимации; погрешностями установки, базирования и закрепления заготовки на станке; погрешностями настройки инструмента и станка на размер; погрешностями обработки, вызванными неточностью инструмента и его износом; тепловыми деформациями и деформациями, возникающими под влиянием внутренних напряжений в материале детали; погрешностями обработки, возникающими в связи с малой жесткостью; ошибками исполнителя работ, т. е. наладчика и оператора.

Действие всех перечисленных факторов, влияющих на точность обработки, приводит к возникновению суммарной погрешности обработки. Элементарные погрешности определяемые действием каждого отдельного фактора, практически независимы между собой.

Ошибки интерполятора и режима интерполяции. Часть погрешностей обработки вносит интерполятор - вычислительное устройство, рассчитывающее траекторию движения точки по заданной кривой и вырабатываю-

щее строго взаимосвязанные сигналы управления приводами подач станка. Интерполятор присущ устройствам с контурным (непрерывным) управлением. Существует несколько видов интерполяторов, из них наиболее распространены линейные и линейно-круговые.

Линейный интерполятор позволяет в одном кадре управляющей программы задать прямолинейное суммарное перемещение рабочих органов по двум-трем координатам, перемещение по архимедовой спирали или винтовой линии при одновременном вращении стола и равномерном прямолинейном перемещении рабочего органа.

Круговой интерполятор позволяет описать одним кадром часть окружности в любой плоскости координатных осей.

Для интерполяторов характерны некоторые отклонения обрабатываемой траектории от заданной. Величина отклонений (геометрическая погрешность) зависит от угла наклона траектории к координатным осям и нигде не превышает цены импульса (дискретности) Δ в одну из сторон от заданной траектории или на ограниченном участке $\pm 0,707\Delta$ в обе стороны от заданной траектории. Станкам первого поколения с величиной дискретности до 0,1 мм и более были присущи значительные погрешности обработки, связанные с природой интерполятора. Геометрическая погрешность интерполяции для современных станков с ценой единичных импульсов в 0,001-0,002 мм является величиной малой, не оказывающей существенного влияния на точность обработки, но проявляющейся в виде отклонений микрогеометрии, т. е. шероховатости обработанной поверхности.

Весьма существенны погрешности, не зависящие от интерполятора, но проявляющиеся в режиме интерполяции, причиной которых являются циклические ошибки в передаче движения приводами подач. Эти ошибки возникают от осевых биений и внутришаговых ошибок ходовых винтов, накопленных ошибок зубчатых колес редукторов и передач к датчикам обратной связи, несоосности валов в кинематической цепи двигатель привода подач - редуктор - ходовой винт - датчик. При работе только по одной координате такие ошибки проявляются в виде некоторой неравномерности движения рабочих органов и не отражаются на результатах обработки, так как незначительные изменения величины подачи в пределах малых долей от номинального значения практически не приводят к микро- и макропогрешностям обработанной поверхности.

Совсем иная картина получается при одновременном перемещении рабочих органов в режиме интерполяции по нескольким осям. В этом случае неравномерность движения даже по одной из координат приводит к погрешности обработки траектории и волнистости обработанной поверхности.

Влияние конструктивно-технологических факторов на точность расположения осей отверстий. Для эффективного управления точностью механической обработки требуются знания о взаимосвязях между парамет-

рами технологического процесса и степени их влияния на суммарную погрешность обработки. Выявление таких взаимосвязей возможно на основе подхода, базирующегося на технологиях функциональных семантических сетей, позволяющего обеспечить точность механической обработки на основе решения задачи многофакторной оптимизации.

Оптимизация параметров технологического процесса на семантической сети в рассматриваемом случае сводится к тому, чтобы, используя функциональные зависимости, определить значения параметров, при которых обеспечивался бы максимальный запас точности. Для реализации описанной методологии была создана интеллектуальная система SEMANTIC, осуществляющая управление точностью механической обработки.

С ее помощью были исследованы степени влияния конструктивно-технологических факторов на точность расположения осей обрабатываемых отверстий. Влияние параметров рассматривалось применительно к условиям обработки отверстия на вертикально сверлильном станке жестко закрепленным инструментом, направляемым втулками стационарной кондукторной плиты.

Наиболее эффективным методом управления суммарной погрешностью расположения осей обрабатываемых отверстий является изменение конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки и узла направления инструмента (зазора в сопряжении «втулка–инструмент», длины кондукторной втулки, биения инструментальной наладки и др.), погрешности установки заготовки, характера и интенсивности износа втулок и т. д., а задачу проектирования станочного приспособления следует рассматривать как подзадачу обеспечения точности положения отверстия.

Наиболее эффективно такая задача решается при использовании функциональных семантических сетей.

Методы контроля отверстий корпусных деталей. Для измерений диаметров отверстий и точности их относительно положения в корпусных деталях при обработке на сверлильных станках применяют как универсальные средства, так и различные калибры-пробки. Универсальными измерительными средствами являются индикаторные нутромеры, микрометрические штихмассы, штангенциркули и др.

Погрешности формы отверстий в поперечном сечении (овальность, огранка) определяются измерениями в различных радиальных направлениях. Погрешность формы в продольном сечении (конусообразность, бочкообразность и т. п.) определяются по результатам измерений в различных поперечных сечениях. Для измерения длин отверстий используют штангенглубиномеры, шаблоны, калибры.

Для контроля точности относительно положения отверстий преимущественно используются контрольные оправки.

Соосность отверстий обычно проверяют контрольными оправками и индикаторными приспособлениями

Расстояние от оси отверстия до базовой плоскости определяется на кон-

трольной плите измерением размеров и блоком плиток, и штихмассом или измерением размеров от верхней образующей оправки до плоскости плиты штангенрейсмасом, штангенглубиномером или индикаторным устройством.

Отклонение от перпендикулярности торцевой плоскости относительно оси отверстий можно проверить индикаторным приспособлением или специальным калибром.

Отклонение от перпендикулярности осей отверстий определяется измерением зазоров оправкой с индикатором или калибром.

Список литературы

[1]. *Справочник технолога-машиностроителя* : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. – 656 с.

[2]. *Лакирев С.Г.* Обработка отверстий: справочник / С. Г. Лакирев. – М. : Машиностроение, 1984. – 208 с.

[3]. *Дунаев П.Ф.* Расчёт допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Машиностроение, 1984. – 189 с.

[4]. *Троцкий Н.Д.* Глубокое сверление / Н. Д. Троцкий. – Л. : Машиностроение, 1971. – 176 с.

[5]. *Глебов И.Т.* Учимся работать на станке с ЧПУ: Екатеринбург: УГ-ЛТУ, 2015. – 115 с.

[6]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2013. – 567 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

Каргина Александра Александровна – студент ТМД.Б-81 КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: Aleksa_Kargina@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЦЕНТРОВЫХ ОТВЕРСТИЙ

При обработке или проверке деталей, таких как тела вращения, в центровые отверстия детали входят центры станка или приспособления, на которых деталь удерживается и вращается. Если наличие центровых отверстий в детали необходимо для ее основной обработки, форма и размеры центральных отверстий выбираются из ГОСТ 14034-74 в зависимости от типа детали (точная или нормальная), массы детали (легкая или тяжелая) и т. д.

Согласно ГОСТ 14034 - 74 предусмотрены три основные формы центральных отверстий: А - без предохранительного конуса; С - с предохранительным конусом; R - с дугообразной образующей. В первых двух формах базовая поверхность представляет собой коническое отверстие с углом при вершине 60° . Для формы R это профилированная поверхность, обеспечивающая кольцевой контакт с рабочим конусом центра. Небольшая цилиндрическая секция предназначена для разгрузки верхней части поворотного центра и размещения смазки. Диаметр этого сечения является номинальным размером центрального отверстия.

Центровые отверстия формы В рекомендуются для заготовок, которые многократно устанавливаются в центрах. Форма R полезна, когда требуется повышенная точность обработки.

Точность центровки отверстия также ограничена требованиями стандарта, согласно которому угол рабочего конуса 60° допускает отклонение не более минус $30'$, а шероховатость поверхности этого сечения не должна превышать $Ra = 2,5$ мкм. Кроме того, оси центровых отверстий должны быть соосны друг с другом и с осью заготовки.

Наиболее производительными инструментами для центрирования являются комбинированные центрирующие сверла, которые позволяют придать форму отверстия за один рабочий ход. Они доступны для номинальных размеров $d = 1-6$ мм. Обточка центрирующих отверстий больших размеров выполняется отдельно: сначала с помощью специального центрирующего сверла, а затем с помощью многозубой зенковки. Центрирование на токарном станке похоже на сверление. [1-3]

Одним из важных условий, обеспечивающих точность обработки, является точность центров и отверстий в центрах обрабатываемых деталей. В зависимости от требуемой точности обработки, некруглость центровых отверстий должна быть в пределах $0-4$ мкм, а некруглость упорного центра должна составлять $0,5-1$ мкм. Шероховатость поверхности центровых отверстий должна быть в пределах $Ra 1,25-0,16$, а упорных центров $Ra 0,32-0,08$. В случае некруглых центров или центральных отверстий детали не имеют достаточной опоры, и, будучи смещенными под действием шлифования, неточность центральных опор копируется. На точность установки влияет несоот-

ветствие углов конусности отверстий и центров, а также их несовпадение и непараллельность. Смещение осей приводит к тому, что центровые отверстия детали частично прилегают к центрам станка, что вызывает неравномерный износ отверстия. Неполное прикрепление центровых отверстий к центрам может привести к отклонению от круглости в поперечном сечении. [4]

Список литературы

[1]. *Вардашкин Б.Н., Шатилов А.А.* Станочные приспособления. Том 1. М.: Машиностроение, 1984 – 592 с.

[2]. *Безъязычный В.Ф.* Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2013. – 567 с. [Электронный ресурс] http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=37005.

[3]. *Тюняев А.В.* Основы конструирования деталей машин. 2019. – 315с. [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/reader/book/123466/#1>

[4]. *Акулович Л.М., Шелег В.К.* Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. 2014. – 488с. [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/reader/book/2914/#1>

Михаил Андреевич Федоров – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: misha.fyodorov.2013@mail.ru

СЕКЦИЯ 2.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

АНАЛИЗ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ПРИ СВАРКЕ

В течение последних пятнадцати лет наметилась тенденция к росту объёмов применения систем слежения в области сварки. Слежение за стыком стало неотъемлемой частью современных роботизированных и автоматических сварочных комплексов. Необходимость применения систем слежения в сварочной робототехнике обусловлена особенностями оборудования, главной из которых является независимость процесса сварки от человека (оператора роботизированной сварочной установки). При роботизированной сварке оператор лишь выполняет начальную настройку оборудования: задаёт режим сварки и траекторию движения робота, программы начала сварки, заварки кратера. Малейшие изменения геометрии стыка/траектории шва именно в процессе сварки (что весьма вероятно при сварочных деформациях) могут привести к последствиям в виде дефектов сварного шва (непровар, прожог и др.). Одним из классических способов решения данной проблемы является максимально точная сборка конструкции под сварку, жёсткое её закрепление в прижимных приспособлениях (центраторах) и трудоёмкая настройка траектории перемещения робота. Этот подход характеризуется высокой стоимостью вспомогательного сборочного оборудования, а также значительными временными затратами на сборку и подготовку кромок, что практически нивелирует повышение производительности в результате автоматизации и роботизации. Кроме того, сборка с точной выдержкой всех номинальных параметров не всегда может быть реализована на практике, например, в полевых условиях.

Современные следящие системы для роботизированной сварки предлагают принципиально другое решение. Как и раньше, оператор сварочной установки выполняет начальную настройку ряда параметров, но в дальнейшем, следящая система корректирует движения робота по стыку на протяжении всего процесса сварки. Из всего многообразия следящих систем, предлагаемых в настоящее время [1, 2], наиболее популярными системами являются оптические системы слежения триангуляционного типа, которые активно применяются практически всеми производителями и интеграторами сварочных роботов, используются для решения задач по технологической и геометрической адаптации процессов сварки, а также позволяют добиться высокой скорости стабилизации параметров режима, в том числе при сварке коротких швов [3].

Принцип работы оптических систем слежения триангуляционного типа

Целью применения триангуляционных систем слежения является исключение процесса предварительного программирования сварочного робота путем его проведения по требуемой траектории. Это достигается благодаря тому, что система способна управлять движением сварочной головки в реальном времени на основании зрительной информации об искажении лазерного луча на стыке свариваемых деталей (рис. 1).

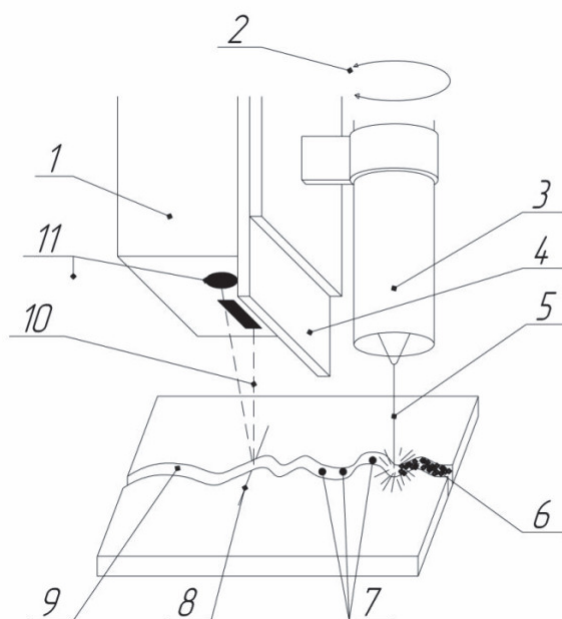


Рис. 1. Схема работы системы:

1 – сенсор; 2 – вращение в запястье робота; 3 – сварочная головка;
 4 – защитный экран; 5 – сварочная проволока 6 – сварочный шов;
 7 – позиция коррекции; 8 – линия сканирования
 9 – стык свариваемых деталей; 10 – сканирующий луч; 11 – камера

Система слежения включает в себя модули обработки изображения и управления роботом. В состав первого модуля входит микро-ЭВМ, куда поступает оцифрованное лазерным лучом изображение линии пересечения стыка свариваемых деталей. Результаты предварительной обработки его специальным препроцессором используются для расчета отклонений сенсора от средней линии стыка. Наряду с уже имеющимися в ЭВМ координатами (x, y) сенсора эта информация служит для вычисления пространственного положения стыка в системе координат рабочего органа робота, при этом дополнительно можно воспользоваться знанием геометрии шва для расчета углов наклона и качения рабочего органа, а также угла ротации сенсора [4]. По трем пространственным координатам очередной точки стыка модуль управления роботом вычисляет требуемые значения всех степеней подвижности. Существенно, что модули обработки изображений и управления роботом работают параллельно и могут обращаться друг к другу. Система имеет шесть степеней подвижности и снабжена системой управления (рис. 2).

Супервизорное устройство управления отвечает за обработку изображений, подачу команд на выполнение движений устройству управления роботом и управление движением лазерного сенсора при наличии шумов и неопределенностей в геометрии стыка. Камера воспринимает освещенную полосу рабочей зоны, пересекающую шов, и передает изображение в виде электрических сигналов в ЭВМ для дальнейшей обработки, в результате которой формируется изображение контура шва, его глубины, ширины и рассогласования по высоте стыкуемых деталей [5].

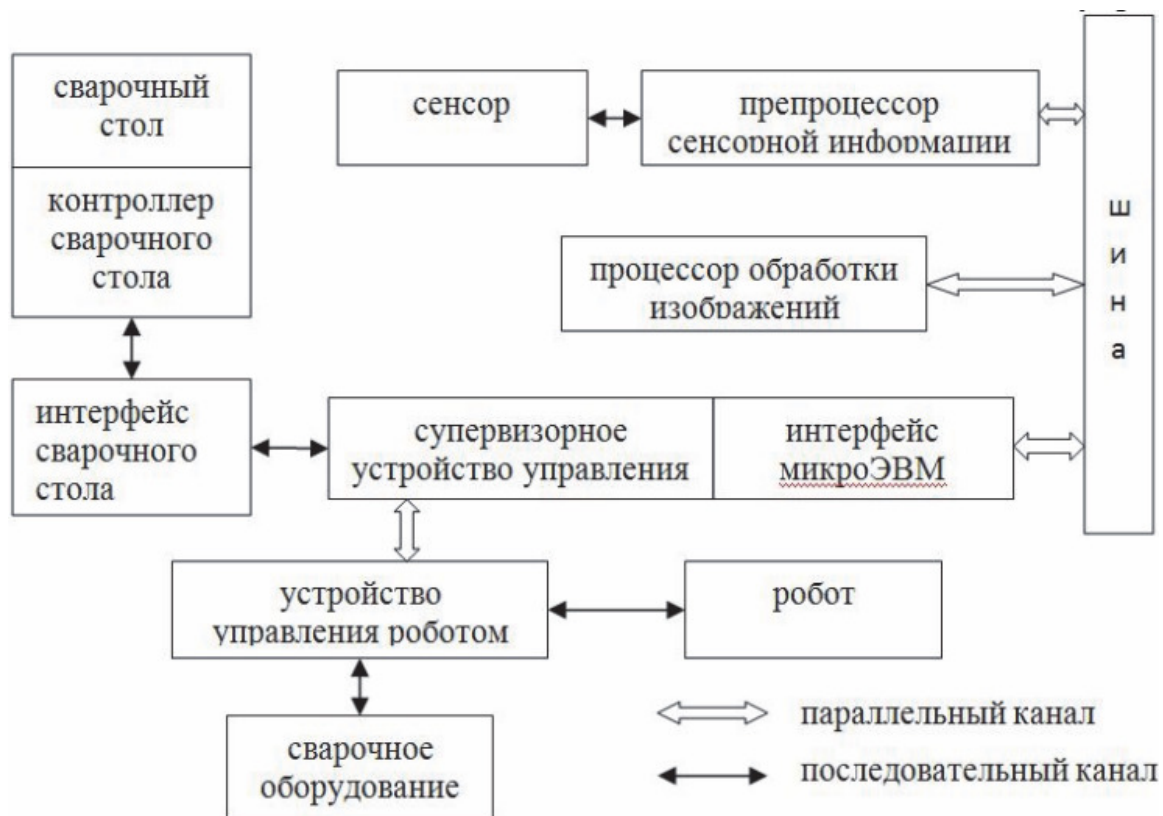


Рис. 2. Упрощенная блок-схема системы

Видеосенсор снабжен препроцессором, преобразующим исходные видеоданные в последовательность значений отклонений оси сенсора от средней линии стыка. Связь систем координат сенсора и сварочного инструмента устанавливается в процессе калибровки. От препроцессора данные поступают в модуль обработки изображения, входящий в состав супервизорного устройства управления. Последнее осуществляет настройку таких параметров, как частота снятия данных и время задержки, критических для функционирования лазерного сенсора в реальном времени [6].

Алгоритм определения геометрии стыка: 1) сбор данных о профиле с использованием метода триангуляции (рис. 3); 2) фильтрация ошибочных данных (вызванных, например, отражением лазерного луча от блестящих участков сварочной ванны); 3) обработка отфильтрованных данных для определения средней линии и кромок стыка; 4) преобразование геометрической информации о стыке из системы координат, связанных с сенсором, в систему координат сварочной головки. Благодаря программируемости лазерного сенсора можно оперативно настраивать время выдержки, приспосабливаясь к небольшим изменениям отражательной способности поверхности, а также снимать больше отсчетов в непосредственной окрестности стыка.

Весь процесс отслеживания стыка делится на три стадии: нахождение начала стыка, отслеживание (включая управление параметрами сварочного процесса) и определение конца шва с выполнением соответствующих завершающих процедур. На первой стадии человек-оператор устанавливает сварочную головку в начале стыка с точностью в несколько миллиметров от

средней линии. Устройству управления положение головки известно в любой момент времени. Теперь можно переместить сенсор в то место, где ранее находилась сварочная головка, зная, благодаря предварительной калибровке, взаимосвязь между системами координат, что позволяет уточнить точку начала шва [7].

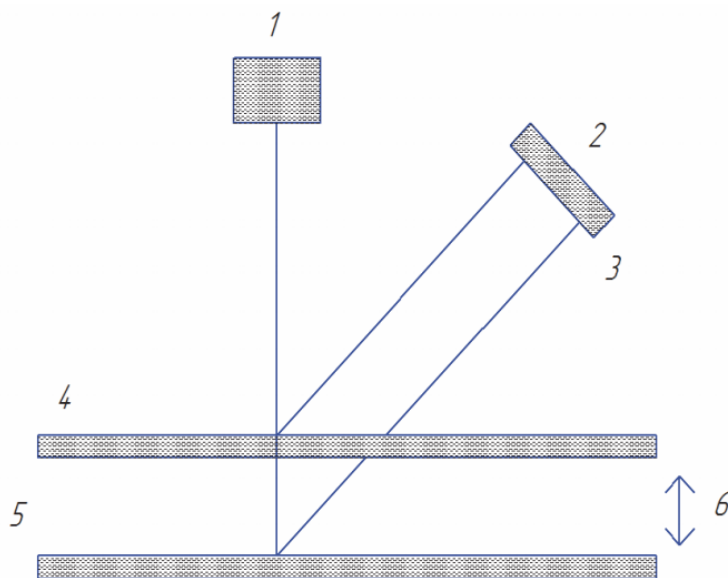


Рис. 3. Сбор данных о профиле стыка с использованием метода триангуляции:

1 – лазерный источник; 2 – изменение положения сенсора; 3 – сенсор; 4 – поверхность 1; 5 – поверхность 2; 6 – изменение положения поверхности

На второй стадии сенсор сканирует поверхность, чтобы определить направление и профиль стыка, а затем с помощью программ экспертной системы модуля обработки изображения распознать его тип (разделка, место прихватки, конец шва). Эта информация используется для определения параметров сварки и управления движениями робота. После достижения головкой заданной точки в супервизорное устройство управления посылается сигнал прерывания и лазерный сенсор осуществляет сканирование очередного участка, что дает возможность определить три координаты средней линии шва (в отклонениях), а также углы наклона и качания рабочего органа, тем самым задавая новую целевую точку. Кроме того, находится угол ротации сенсора, чтобы «довернуть» его до средней линии стыка при сканировании через два такта. Интервал между тактами находится в пределах 200 мс, что позволяет пренебречь влиянием запаздывания на боковое смещение [8].

Третья стадия начинается после распознавания модулем обработки изображения конца шва. Новые сенсорные данные далее игнорируются супервизорным устройством управления, которое дает команду управляющему устройству робота на отключение сварочного оборудования, отведения головки и возвращение робота в исходное положение.

Описание оборудования системы слежения SLS050. В состав системы слежения SLS050 входят следующие основные элементы (рис. 4) [9].

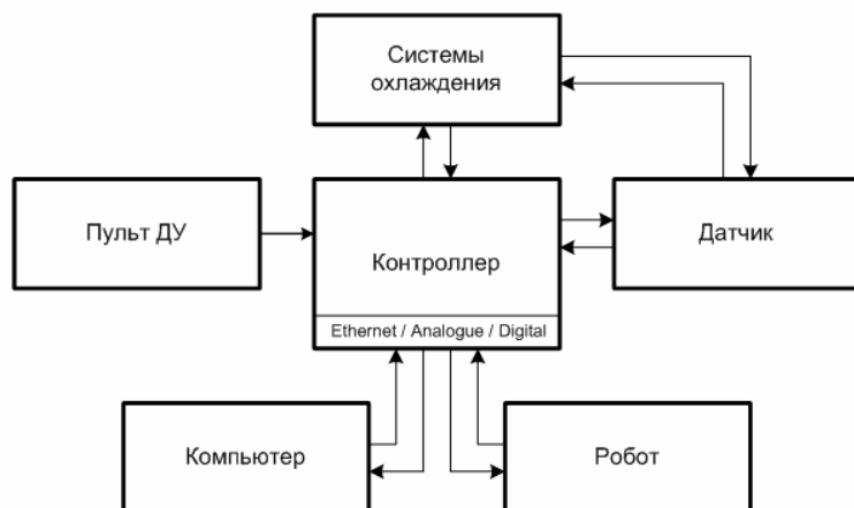


Рис. 4. Структурная схема системы слежения SLS050

Датчик устанавливается непосредственно на сварочное оборудование, выполняет сканирование разделки стыка и передачу данных в контроллер системы слежения.

Контроллер является центральным элементом системы, выполняет обработку сигнала с датчика и их фильтрацию; в режиме слежения выполняет преобразование данных для передачи на исполнительные механизмы по цифровому, аналоговому или Ethernet интерфейсу. В режиме сканирования контроллер выполняет запись данных на компьютер по Ethernet интерфейсу.

Пульт ДУ служит для переключения режима работы датчика и его запуск.

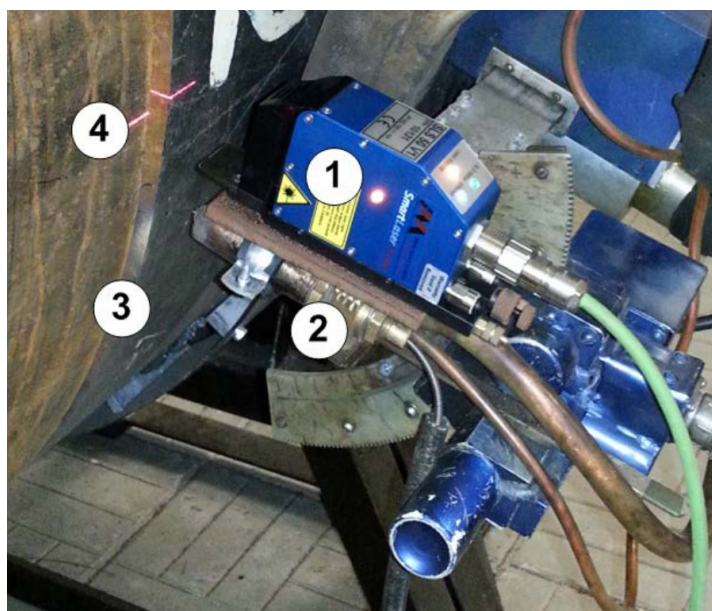


Рис. 5. Установка датчика: 1 - лазерный датчик, 2 - сварочная горелка, 3 - разделка стыка, 4 - измеряемое место разделки

Система охлаждения. Система слежения оборудована воздушным и водяным охлаждением лазерного сканера, при увеличении температуры сканера выше 350 С происходит автоматическое временное прекращение его работы.

Система слежения допускает различные варианты установки на сварочное оборудование (на горелку или на выносной кронштейн). Логика заключается в расположении датчика как можно ближе к зоне сварки. На рис. 5 датчик установлен на сварочную горелку.

Работа с системой слежения состоит из двух основных этапов: этап настройки параметров следящей системы и собственно измерение стыка в режиме сканирования (запись на компьютер) или в режиме слежения (генерация управляющих воздействий на исполнительные механизмы сварочного аппарата).

Настройка системы слежения SLS050. Для настройки системы слежения под конкретный стык предусматривается использование поставляемого с оборудованием программного обеспечения SLS Pilot tools («Meta Vision Systems» Ltd.). После подключения системы и запуска необходимо выполнить следующие основные настройки [10].

При включении датчика имеется возможность наблюдать изображение разделки (рис. 6). На данном этапе производится выбор интенсивности лазера и скорости записи камеры (кадров/секунду). Предусмотрена также возможность автоматической оптимизации данных параметров.

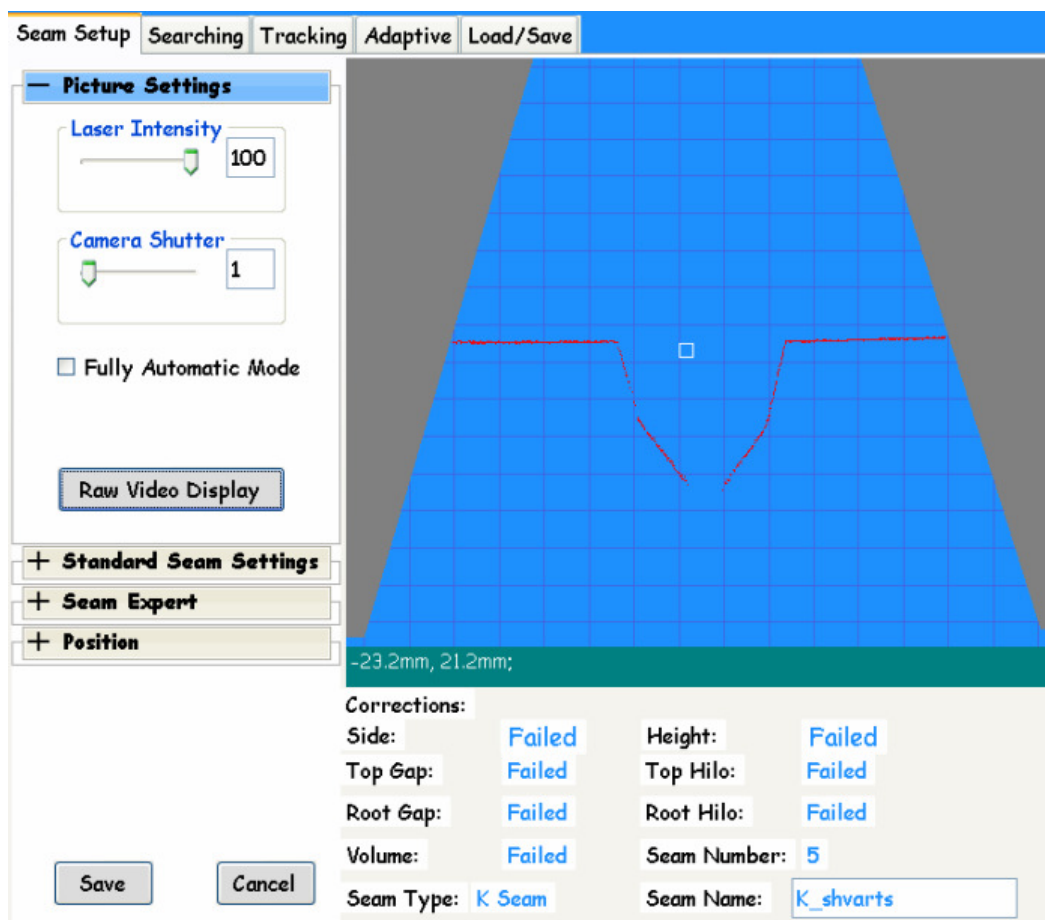


Рис. 6. Настройка параметров сканера в программе SLS pilot tools

Выбирается тип разделки кромок из имеющейся библиотеки (V-, U-, K-образная разделка, без разделки, соединение внахлест, тавровое, угловое и другое) или режим слежения за формой валика.

Для определения основных геометрических параметров (зазоры, превышения кромок, смещение центра разделки и т.д.) необходимо выполнить ввод контрольных точек разделки. Данная процедура выполняется вручную. На рисунке 7 продемонстрирован ввод контрольных точек для K-образной разделки кромок – всего восемь точек, по четыре на каждую кромку.

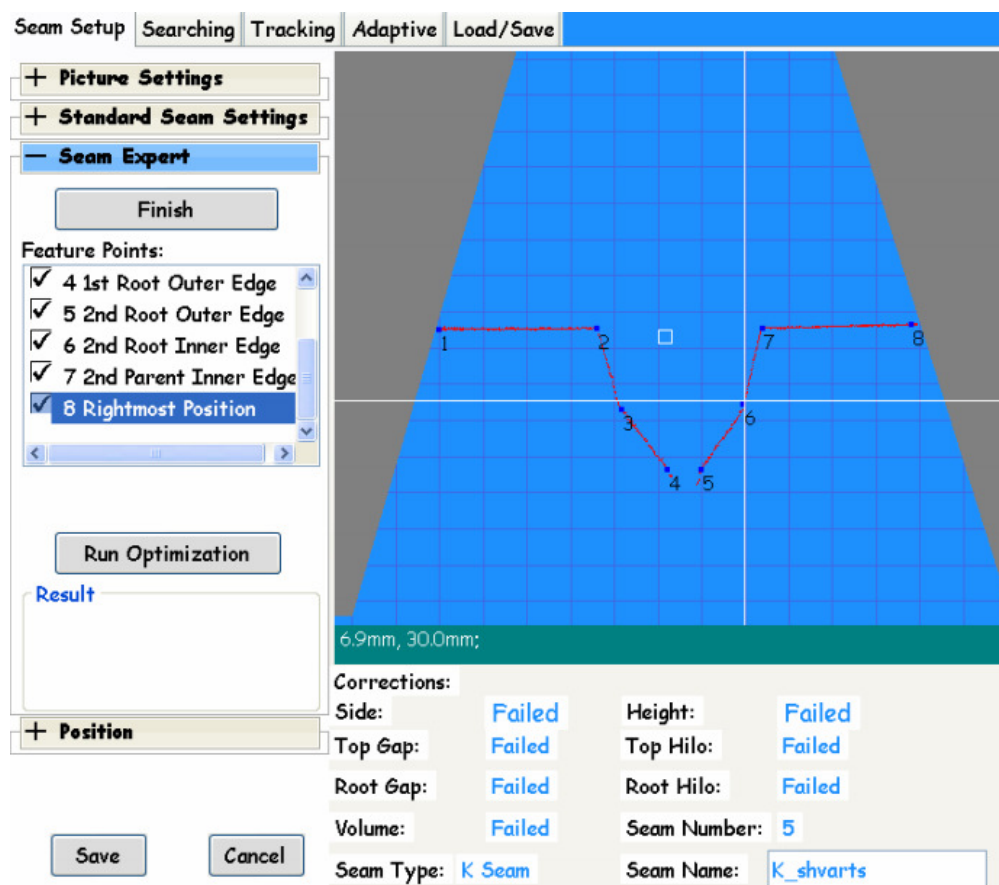


Рис. 7. Ввод контрольных точек разделки в SLS pilot tools

После выполнения процедуры оптимизации запускаем сканирование разделки стыка с определением основных параметров геометрии.

Сканирования стыка. В процессе сканирования стыка оператор выполняет мониторинг разделки кромок с помощью программы SLS pilot tools (рисунок 8). Набор измеряемых параметров разделки зависит от её типа, для стандартной K-образной разделки предусмотрены следующие параметры:

- side (смещение центра разделки по горизонтали);
- height (смещение центра разделки по вертикали);
- top gap (зазор между верхними поверхностями);
- root gap (зазор в корне шва);
- top hilo (превышение верхних поверхностей кромок);
- root hilo (превышение кромок в корне шва);
- volume (объём разделки).

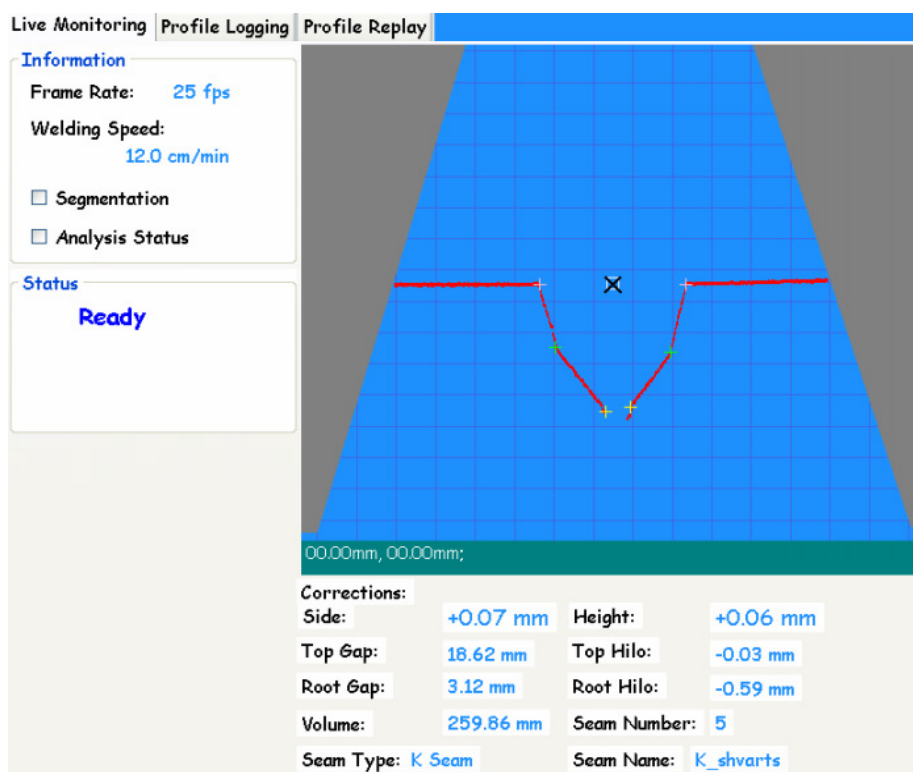


Рис. 8. Экран программы SLS Pilot tools при работе в режиме сканирования

После сканирования и записи возможен просмотр данных о стыке, их анализ и принятие решения о начале сварки или коррекции сборки. Следует отметить, что в случае кратковременной потери системой слежения контрольных точек в результате воздействия внешних возмущений (несовершенство крепежа, значительный дефект геометрии) предусмотрен специальный аппроксимирующий алгоритм, позволяющий предотвратить сбои в работе системы [10].

Выводы. На основании данных сканирования с помощью системы слежения SLS050 ряда стыков К-, U-, V - образной разделки кромок на поверхностях с разным коэффициентом отражения (зачищенные и загрязнённые кромки) отмечены достоинства и недостатки системы. Система слежения обладает следующими достоинствами:

- Низкая чувствительность системы к качеству подготовки кромок. После соответствующей настройки система проводит одинаково точные измерения на зачищенных и загрязнённых поверхностях.

- Широкий выбор стандартных разделок кромок и типов соединений. Возможность слежения за формой валика и послеоперационный контроль формы шва.

- Простота сборки, настройки и интуитивно понятный интерфейс системы и программного обеспечения.

- Возможность считывания данных с контроллера с помощью трёх независимых интерфейсов: цифрового, аналогового и Ethernet.

- Наличие современных алгоритмов обработки, предохраняющих систему от сбоев при внезапных возмущениях.

- Тем не менее, система обладает определенными недостатками:
- Система испытывает трудности с отображением стыка при сканировании узких щелевых разделок с небольшим наклоном скоса кромки (менее 20°): возникают ошибки и сбои алгоритма обработки контрольных точек, в результате которых сканирование прекращается.

- Система обладает высокой чувствительностью к неконтролируемым колебаниям следящего сенсора (при установке на консольных элементах сварочного аппарата): возникают ошибки и сбои алгоритма обработки контрольных точек, в результате которых сканирование прекращается.

- Ограничения на информативность цифрового и аналогового интерфейса контроллера: возможно чтение только двух параметров геометрии разделки. Для получения полной информации о геометрии необходимо использование Ethernet интерфейса.

Тем не менее, система обладает определенными недостатками:

- Система испытывает трудности с отображением стыка при сканировании узких щелевых разделок с небольшим наклоном скоса кромки (менее 20°): возникают ошибки и сбои алгоритма обработки контрольных точек, в результате которых сканирование прекращается.

- Система обладает высокой чувствительностью к неконтролируемым колебаниям следящего сенсора (при установке на консольных элементах сварочного аппарата): возникают ошибки и сбои алгоритма обработки контрольных точек, в результате которых сканирование прекращается.

- Ограничения на информативность цифрового и аналогового интерфейса контроллера: возможно чтение только двух параметров геометрии разделки. Для получения полной информации о геометрии необходимо использование Ethernet интерфейса.

Отмеченные качества позволяют сделать вывод о том, что оптические системы слежения триангуляционного типа, в том числе SLS050, являются оптимальным решением для роботизированной сварки коротких швов. Перечисленные недостатки не снижают возможностей по применению данного оборудования в адаптивных сварочных системах, а лишь предъявляют некоторые дополнительные требования к сварочному оборудованию, с которым система будет использоваться: необходимость жесткого закрепления датчика на сварочном оборудовании, использование Ethernet интерфейса.

Список литературы

[1]. *Гладков Э.А., Киселев О.Н., Перковский Р.А., Трезубов Г.П.* Системы ориентации сварочного инструмента на линию стыка при дуговой сварке: учебн. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 132 с.

[2]. *Shan-Ben Chen, Jing Wu.* Intelligentized Methodology for Arc Welding Dynamical Processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 276 p. (Ser. Lecture Notes in Electrical Engineering; vol. 29). DOI: 10.1007/978-3-540-85642-9

[3]. *Fan Chongjian, Lv Fengling, Chen Shanben.* A visual sensing system for welding control and seam tracking in aluminum alloy gas tungsten arc welding //

Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. Taipei, 2007. P. 2700-2705. DOI: 10.1109/IECON.2007.4460073

[4]. *Поезжаева Е.В.* Теория механизмов и механика машин. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е.В. Поезжаева. – Пермь: Изд-во Перм. Гос. тех. ун-та, 2009. – Ч.2. – 185 с.

[5]. *Поезжаева Е.В.* Теория механизмов и механика машин. Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е.В. Поезжаева. – Пермь: Изд-во Перм. Гос. тех. ун-та, 2009. – Ч.3. – 164 с.

[6]. *Поезжаева Е.В.* Разработка концепции адаптивного отслеживания шва в реальном времени для роботизированной сварки / Е.В. Поезжаева, А.А. Сергеев, М.Н. Мисюров // Молодой ученый. 2015. №16 (96). С. 214 – 218.

[7]. *Зенкевич С.Л.* Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 479 с.

[8]. *Гладков Э.А., Малолетков А.В.* Управление технологическими параметрами сварочного оборудования для дуговой сварки: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 148 с.

[9]. *Smart Laser Sensor* // Компания Meta Vision Systems: официальный сайт. Режим доступа: <http://www.meta-mvs.com/SLSSensor.html> (дата обращения 21.12.19)

[10]. *Шварц М.В., Малолетков А.В., Перковский Р.А.* Применение лазерной системы слежения для управления процессом автоматической MIG/MAG сварки // Наука и образование – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – С. 6 – 8.

Станкевич Илья Сергеевич – магистрант АО «Калуга Астрал». E-mail: soundbroo@gmail.com

Орлик Геннадий Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: G.V.Orlik@yandex.ru

РЕМОНТ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14%, называют чугунами [1]. Чугун является самым распространенным сплавом в литейном производстве. Достаточно отметить, что около 80% общего мирового выпуска отливок приходится на долю чугуна.

По назначению чугуны могут быть разделены на несколько укрупненных групп в зависимости от предъявляемых к отливкам требований. К укрупненным группам, в частности, относятся машиностроительные отливки из серого чугуна, у которого наблюдаются характерные механические свойства, хорошая обрабатываемость, улучшенные литейные свойства, облегчающие получение отливок наиболее сложной конфигурации, и наибольшая дешевизна. Примеры машиностроительных отливок из серого чугуна представлены на рис. 1.



Рис. 1. Детали из серого чугуна: *а* – блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания, *б* – поршневые кольца, *в* – выпускной коллектор



Рис. 2. Отливка «Дебаланс»

В связи с большим процентом брака среди изделий сложной конфигурации требуется проанализировать передовые методы сварки и наплавки деталей из серого чугуна чтобы исправить дефекты, получить качественную технологичную деталь, легко обрабатываемую резанием, не нарушить установленные сроки сдачи изделий.

В качестве примера рассмотрим отливку «Дебаланс» (рис.2) из серого чугуна СЧ 15.

В табл. 1 приведен химический состав данного сплава.

Таблица 1.

Химический состав СЧ 15

| C | Si | Mn | S | P | Fe |
|-----------|---------|-----------|---------|--------|------|
| 3,5 – 3,7 | 2 – 2,4 | 0,5 – 0,8 | до 0,15 | до 0,2 | ~ 93 |

Линейная усадка СЧ15 составляет 1,1%, среди механических свойств можно отметить предел кратковременной прочности $\sigma_B = 150$ МПа; твердость $HV 10^{-1} = 130 - 241$ МПа.

В отливке «Дебаланс» наиболее часто встречаются такие дефекты, как газовая и усадочная раковины (поверхности 2, 3, 2') (рис. 3). После заварки раковин возможно возникновение такого дефекта, как отбел. Участки детали с отбелами обладают повышенной твердостью из-за образовавшегося в результате быстрого охлаждения зоны сварки цементита, что препятствует дальнейшей механической обработке.



Рис. 3. Дефекты, возникающие в отливках «Дебаланс»

На рис. 3 цифрами обозначены поверхности детали. Отмечены поверхностные раковины (газовые, усадочные, песчаные, шлаковые)

Структура металлической основы детали феррито-перлитная, в которой располагаются образовавшиеся в ходе эвтектического превращения розетки пластинчатого графита (рис. 4). В процессе сварки требуется получить структуру серого чугуна в сварном шве и не допустить отбела околошовной зоны. Рассмотрим возможные методы получения «мягкого» сварного шва и ЗТВ, чтобы предотвратить трудоемкость механической обработки заваренных деталей.



Рис. 4. Микроструктура серого чугуна (до травления) [1]

Технологии в области сварки чугуна. Заваркой допускается исправлять отливки, имеющие следующие дефекты [3]:

- раковины поверхностные и сквозные (газовые, усадочные, песчаные, шлаковые);
- пористость поверхностную и сквозную (газовую и усадочную) рыхлоту и др.

Отливки, подлежащие исправлению, должны поступать на заварку после удаления литников и прибылей, очистки от формовочной смеси, окалины и ржавчины.

Разделка дефектных мест, подлежащих заварке, должна быть произведена до полного удаления дефекта и обеспечения провара.

Вокруг разделанного дефектного места металл отливки должен быть очищен от пригара, окалины, ржавчины и жировых загрязнений на ширину не менее 10 мм.

Исправление дефектных участков следует производить до окончательной термической обработки отливки.

Согласно работе [3] для получения необходимых «мягких» структур сварного шва и требований твердости ЗТВ рекомендуются:

- холодная дуговая сварка медно-стальными электродами марок 034-2^X и АНЧ-1;
- холодная дуговая сварка медно-никелевыми электродами марок МНБ-30, МНБ-40 и МНЧ-21;
- горячая полуавтоматическая сварка порошковой проволокой;
- холодная дуговая сварка стальными электродами марки УОНИИ-13/55, АН-1^X, Св-08Г2С и Св-08ГС.

В работе [2] для устранения отбела производят отжиг чугунных отливок. Изделия нагревают до температуры 850 – 870 °С, выдерживают при этой температуре 1 - 5 ч и охлаждают вместе с печью до температуры 500 °С, затем – на воздухе. В результате цементит распадается на железо и углерод (графит) и твердость поверхностного слоя уменьшается.

В работе [5] описан способ охлаждения чугунных отливок после горячей заварки. Общий цикл термической обработки сокращается на 26 – 28 часов.

Кроме того, подогрев отливок на 350 – 400°С для последующей заварки дефектов значительно улучшает условия труда сварщиков.

Согласно работе [6], недостатком электродуговой низкотемпературной сварки чугуна является низкая прочность пайкосварного шва.

В работе [7] изучен состав покрытия электрода для сварки чугуна. Покрытие, содержащее целлюлозу, мрамор, ферросплавы, металлический порошок, жидкое стекло, позволяет получить более пластичный металл шва, который хорошо обрабатывается режущим инструментом.

Работа [8] описывает способ сварки чугуна порошковой проволокой с применением дополнительной дуги. Описанные условия сварки позволяют без предварительного подогрева получать наплавленный металл со структурой серого чугуна без отбела и трещин, обладающей хорошей обрабатываемостью.

В работе [4] для сварки и наплавки чугуна рекомендуются электроды на основе чугунных прутков ЭЧ-1, ЭЧ-2 и ЭВЧ-1, представляющие собой чугунный стержень и покрытие, обеспечивающее необходимые сварочно-технологические свойства электродов; получающийся при этом наплавленный металл – чугун.

В работе [9] исследованы технологические возможности холодной сварки серого чугуна с использованием самозащитной проволоки на никелевой основе ПАНЧ-11 диаметром 1,2 мм, порошковых материалов на никелевой (ПГ-10Н-04, ПГ-АН7) и хромоникелевой (ПГ-АН9) основах и горячей сварки методами газовой и электродуговой сварки с предварительным подогревом до температуры 500–550 °С чугунными электродами со специальной обмазкой. Проведенные исследования позволяют рекомендовать для восстановления ответственных деталей из серого чугуна следующие способы сварки: газопламенное напыление с одновременным оплавлением, газовая и электродуговая с подогревом до 500–550 °С чугунным электродом, так как они обеспечивают получение равнопрочного соединения при растяжении, предел выносливости на уровне основного металла и хорошее качество поверхности после последующей механической обработки зоны сплавления. Электродуговая сварка предпочтительна при заварке больших по объему дефектов вследствие ее более высокой производительности и стабильности показателей качества сварного соединения.

Вывод. Проведенный анализ литературных источников показал, что проблема выбора или разработки присадочного материала и способа сварки для серого чугуна, обеспечивающих получение высококачественного сварного соединения и требуемых свойств наплавленного металла в настоящее время имеет множество решений, но все они имеют недостатки. Холодные способы сварки чугуна, как правило, предусматривают применение сварочных материалов на основе цветных металлов; горячие способы, как правило, направлены на получение структуры серого чугуна в сварном шве и предусматривают применение материалов на основе чугунных прутков. При любом способе важно контролировать скорость охлаждения нагретых деталей,

т. к. возможно возникновение отбела, но он, как правило, устраняется высоким отжигом.

Список литературы

[1]. *Комаров О.С.* Материаловедение в машиностроении / О.С. Комаров, Л.Ф. Керженцева, Г.Г. Макаева ; ред. О.С. Комаров. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 304 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=144216> (дата обращения: 17.11.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-985-06-1608-1. – Текст : электронный.

[2]. *Пейсахов А. П., Кучер А. М.* Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебник. – СПб.: Изд-во Михайлова В. А., 2003 г. – 407 с.

[3]. *Заварка дефектов литья из стали и чугуна.* Технические требования ОСТ 5.9137-83.

[4]. *Антонишин Ю.Т., Дашков В.Н., Серебровский В.И., Лабушев Н.А.* Сварка и наплавка при ремонте и восстановлении чугунных деталей сельскохозяйственной техники. Вестник курской государственной сельскохозяйственной академии, 2013, №5, 7 с.

[5]. *Патент СССР № 390165/22-1, 13.11.1973.* Способ охлаждения чугунных отливок // Патент Союза Советских Социалистических республик № 390165. 1973. Бюл. № 30. / Калинин Н.К., Навроцкий Д.И., Боев Ю.П.

[6]. *Патент РФ № 2098248, 10.12.1997.* Способ низкотемпературной сварки чугуна // Патент России № 2098248. 1996. / Козлов В.П.

[7]. *Патент СССР № 948589/25-27, 07.08.82.* Электрод для сварки чугуна-б4 // Патент Союза Советских Социалистических республик № 948589. 1982. Бюл. № 29. / Бугаенко В.А.

[8]. *Патент СССР № 523770/27, 28.10.1976.* Способ сварки чугуна // Патент Союза Советских Социалистических республик № 523770. 1976. Бюл. № 29. / Несвит П.М., Радзиевский В.Н., Сытник Н.М.[и др.].

[9]. *Леонтьев Л.Б., Доценников Е.Д., Погодаев А.В., Чабан П.В.* Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна. Вестник инженерной школы, 2017. № 1(30), 356 с.

Королев Александр Геннадьевич – магистрант, бакалавр Калужский Завод Транспортного Машиностроения, Калуга, 248000, Россия. E-mail: aleksandrqip@yandex.ru

Чернова Татьяна Георгиевна – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: chernova-tg@yandex.ru

СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ВВАРКИ ПАТРУБКОВ В КОРПУС СОСУДА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

В настоящее время кольцевые угловые швы вварки патрубков в корпус сосудов работающих под давлением выполняются ручной дуговой сваркой или сваркой плавящимся электродом в смесях защитных газов. Ввиду большой толщины свариваемых изделий и высоких требований к качеству сварного шва наиболее целесообразно использование автоматической сварки под слоем флюса с помощью сварочной головки ГМ 180-1000 SAW/GMAW [1].

Основным материалом для производства сосудов, работающих под давлением, является сталь 09Г2С.

Для установки оборудования на патрубок необходимо использование приспособления, гарантирующего соблюдение зазора разделки и центрацию патрубка с отверстием днища.

Сборка под сварку в базовой технологии производится с помощью технологических пластин, приваренных к патрубку, что не гарантирует точности установки патрубка.

Основные проблемы, возникающие при сборке патрубка и днища:

1. Несовпадение центральных осей патрубка и отверстия днища.
2. Несоблюдение зазора между притуплением кромки днища и наружной поверхностью патрубка.

Для решения данных технологических проблем было предложено использование сборочно-сварочного приспособления (рис. 1). Основные детали приспособления – винт, опорная плита и лапы.

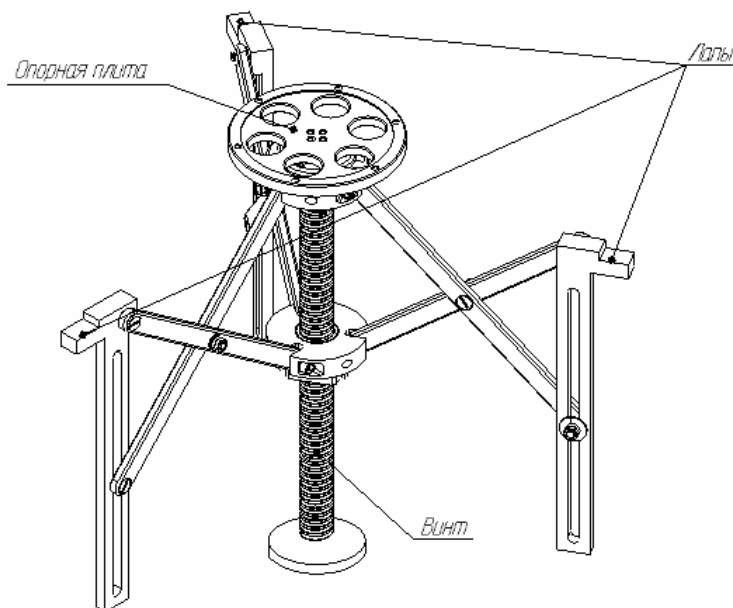


Рис. 1. Сборочно-сварочное приспособление для сборки патрубка и днища

Принципиальная схема приспособления. Проектирование приспособления должно начинаться с разработки его принципиальной схемы, которая оформляется в виде простейшего чертежа, отображающего основную идею приспособления.

Принципиальная схема сборочно-сварочного приспособления представляет собой чертеж сварного изделия, на котором в виде условных обозначений указаны места, способы фиксирования и закрепления всех деталей, а также способы и устройства для установки, поворота, подъема, съема деталей и изделий, другие механизмы [2,3].

На рис. 2 показана принципиальная схема предлагаемого приспособления.

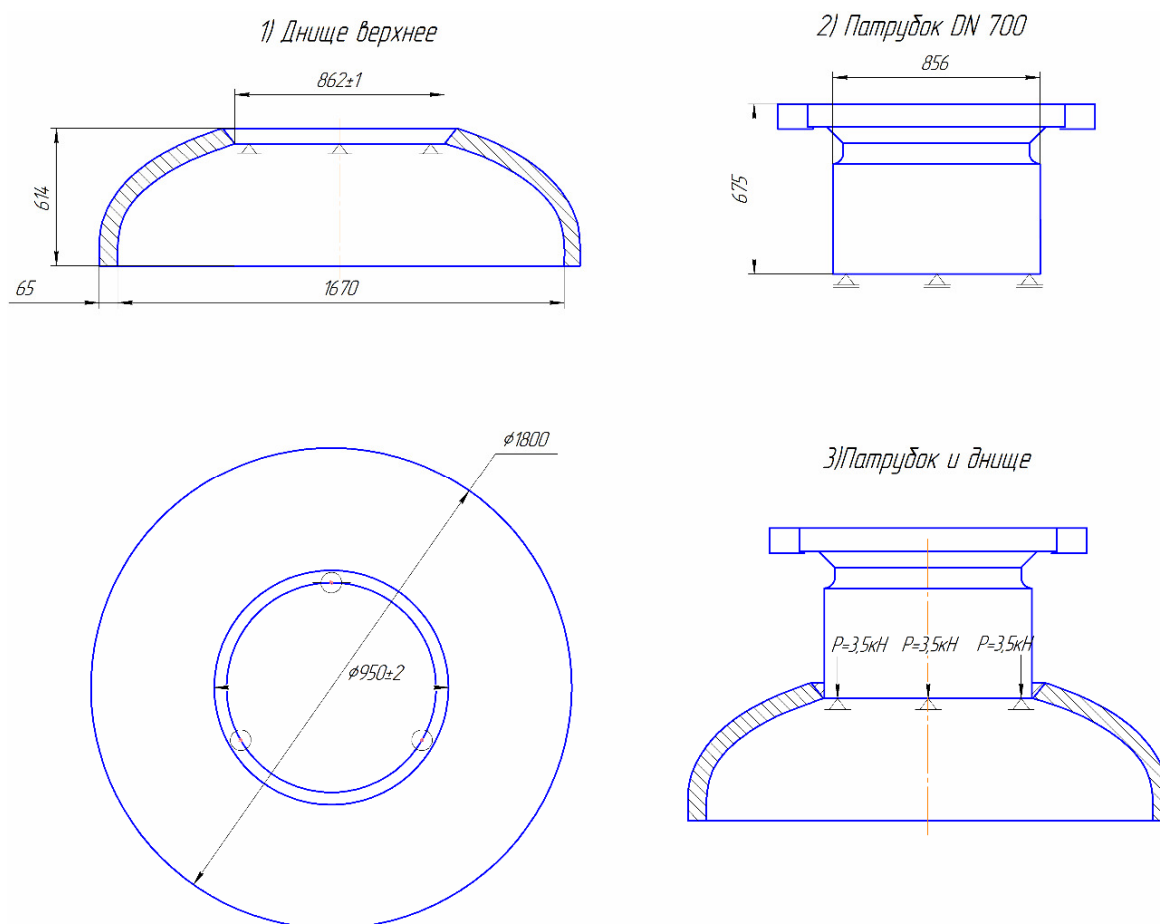


Рис. 2. Принципиальная схема приспособления

Схема сборки патрубка и днища. Для сборки патрубка и днища используются 2 приспособления одинаковой конструкции, но с различными габаритами. Первое приспособление фиксируется на краях днища, а второе на фланце патрубка по внутреннему диаметру.

Сборка патрубка и днища происходит в 3 этапа:

1 этап. Фиксация приспособления на краях днища (показано одно место, см. рис. 3)

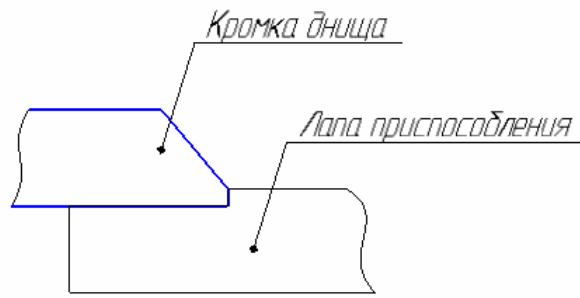


Рис. 3. Фиксация приспособления на кромках днища

На рис. 4 схематично показана поверхность соприкосновения кромки днища и лапы приспособления.

Поверхность соприкосновения лапы приспособления и притупления кромки днища

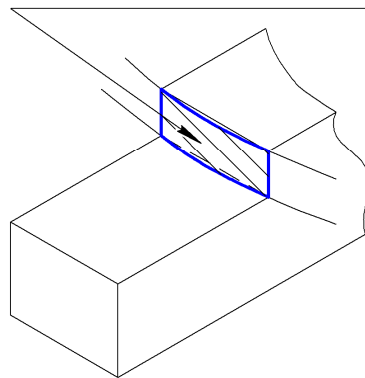


Рис. 4. Лапа приспособления

2 этап. Установка патрубка на приспособление с помощью крана. Вращением опорной плиты перемещаются лапы приспособления для установки патрубка (рис. 5).

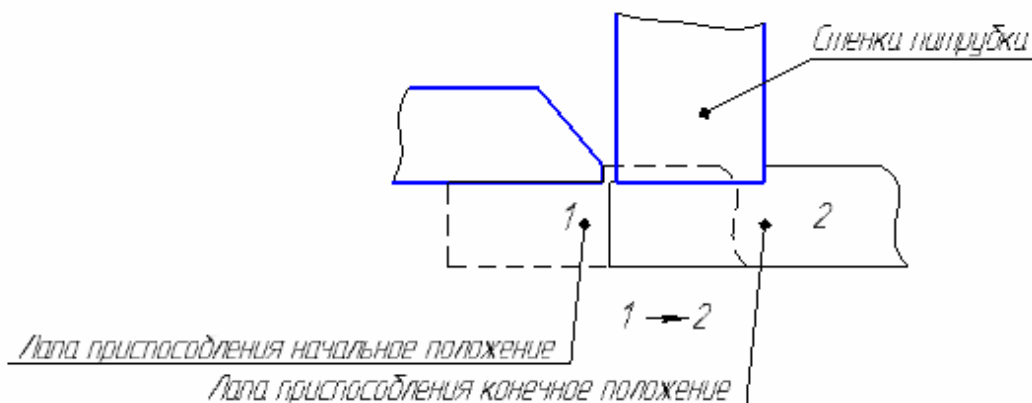


Рис. 5. Установка патрубка на приспособление

3 этап. Совмещение центральных осей отверстия днища и патрубка (рис. 6). С помощью устройства совмещаются оси приспособлений, они обеспечивают центрацию патрубка, выдержав зазор разделки.

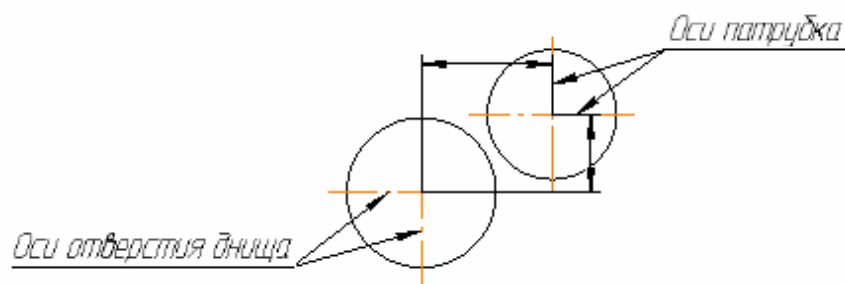


Рис. 6. Совмещение центральных осей отверстия днища и патрубка

На рис. 7 схематично показаны собранные патрубок и днище с помощью приспособлений.

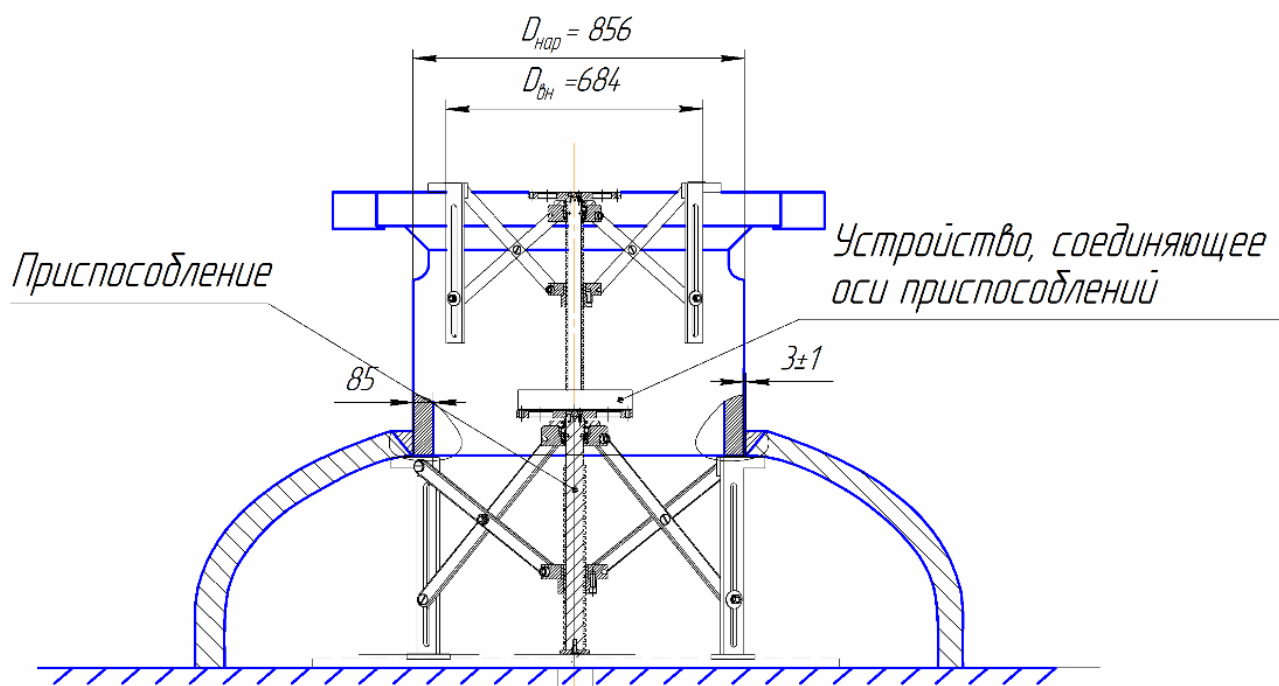


Рис. 7. Собранные под сварку патрубок и днище

Выводы. На основании вышесказанного, можно выделить следующие преимущества использования данного приспособления:

1. Обеспечение технологической точности сборки, а именно:
 - а) соосность патрубка и отверстия днища;
 - б) зазор между кромкой днища и патрубка.
2. При разработке технологического процесса не требуется операция по приварке пластин к патрубку, дальнейшего их срезания и зачистки.
3. Применение данного приспособления позволяет использовать сварочную головку с вращающимся мундштуком для дальнейшего заполнения разделки автоматической сваркой под слоем флюса.

Список литературы

- [1]. Головка с вращающимся мундштуком ГМ 180-1000 SAW/GMAW. Паспорт оборудования.
- [2]. Мухин В.Ф. Современные технологические процессы и оборудова-

ние для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов: учебное пособие/ В.Ф. Мухин, Е.Н. Еремин — Электрон. Текстовые данные. — Омск: Омский государственный технический университет, 2014. — 140с.

[3]. *Проектирование* технологических процессов машиностроительных производств / В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, Н.П. Солнышкин, С.И. Дмитриев, Е.А. Евгеньева. Изд-во «Лань», 2014. - 384 с. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50682.

Поливода Игорь Маркович – магистрант ООО «НПП 35-й Механический завод». E-mail: igorpolivoda5@gmail.com

Орлик Геннадий Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: G.V.Orlik@yandex.ru

Орлик Антон Геннадьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: a.g.orlik@yandex.ru

СЕКЦИЯ 3.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Одной из важных задач при проектировании радиоэлектронной аппаратуры является обеспечение максимальной плотности компоновки электрорадиоэлементов с сохранением высокой степени надежности. Увеличение плотности компоновки и мощности рассеяния теплоты электрорадиоэлементами существенно ухудшает тепловой режим устройства [3].

Анализ и оценка теплового режима печатной платы является важнейшим этапом на стадии разработки и проектирования будущего изделия. Создание алгоритмов исследований тепловых режимов ПП, является актуальной задачей для разработки и проектирования ПП.

Радиоэлектронные устройства содержат большое количество внутренних источников тепловой энергии, которыми являются практически все электрорадиоэлементы. Значительная часть потребляемой ими мощности рассеивается в виде тепла. Внутреннее тепловыделение в совокупности с тепловым воздействием окружающей среды вызывает изменение электрических характеристик РЭС. Для всех элементов должно выполняться условие границ работоспособности в рабочем диапазоне температур окружающей среды, в течение всего периода эксплуатации и при всех возможных режимах работы устройства [2].

Для обнаружения мест локального разогрева печатной платы в большинстве случаев применяется моделирование тепловых режимов печатной платы. Благодаря чему проблемы выявляются на стадии проектирования и путем внесения изменений в топологию печатной платы устраняются без существенных затрат.

Традиционные методы расчета теплового режима печатной платы заключаются в определении количества меди в каждом слое печатной платы и путем усреднения теплопроводных свойств меди и диэлектрического основания производят расчет теплопроводности для этого слоя [1]. Концептуальное отличие представленного алгоритма проведения теплового расчета печатного узла заключается в применении детализированной модели для проведения анализа. После построения алгоритма, выполняется усовершенствование и упрощение процесса построения моделей печатного узла с включенными компонентами детализированной модели, такими как печатные проводники. Вариант алгоритма приведен на рис. 1.

В результате применения алгоритма с детализированной моделью, возможно рассчитать протекания процессов теплообмена в радиоэлектронной аппаратуре, тепловыделения и отвод тепла с печатных проводников и полигонов. При этом возможно учитывать физические процессы самонагрева печатных проводников и отвод тепла с них, на стадии разработки изделия, что позволяет оценить тепловой режим радиоэлектронной аппаратуры с учетом печатных проводников, провести соответствующие корректировки и повысить надежность устройства.

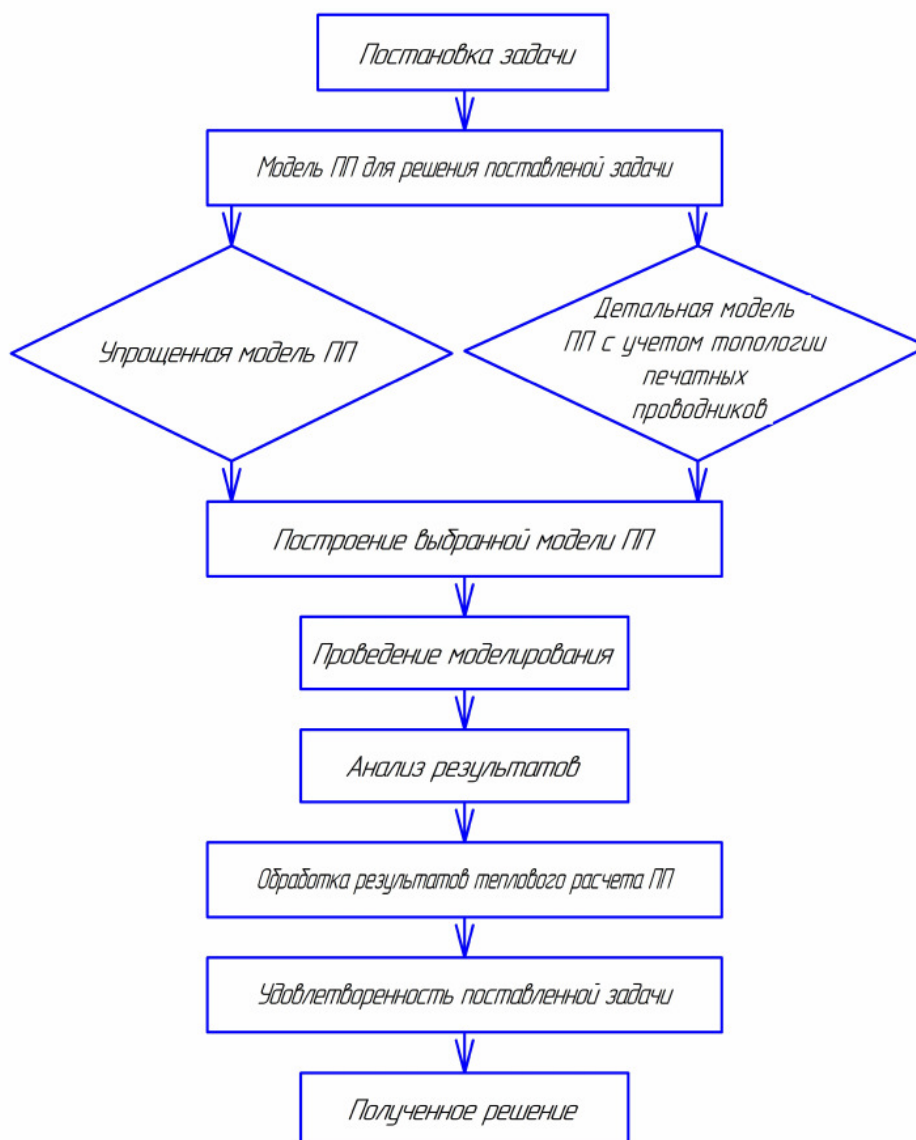


Рис.1. Алгоритм проведения теплового анализа ПП с учетом топологии проводящих слоев

Список литературы

- [1]. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
- [2]. Жаднов В.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 464 с.
- [3]. Кольтюков Н.А., Белоусов О.А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. – 84 с.

Кацапов Олег Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
OlegK461@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВ ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В современной электронике, для решения различных задач, всё чаще применяются заказные интегральные микросхемы (ASIC), изготовленные по КМОП технологии. К качеству и надежности таких микросхем и их элементов предъявляются повышенные требования. Одним из путей повышения надежности и быстродействия микросхем является размещение на одном кристалле различных функциональных блоков [1]. Однако, в этом случае, может возрасти вероятность ошибок, допускаемых при разработке изделия, а процесс верификации проекта приобретает дополнительную значимость.

В настоящее время для разработки и верификации цифровых схем, широко используются языки описания аппаратуры VHDL и Verilog [2]. Они позволяют произвести описание схемы на поведенческом или логическом (схемном) уровне, а также провести её тестирование.

В данной работе рассмотрен процесс синтеза схемы двухканального формирователя прямоугольных импульсов, которая используется для управления (перемагничивания) фазовращателей в фазированных антенных решетках (ФАР). Функциональная схема формирователя представлена на рис. 1.

На основе данных полученных в ходе анализа функциональной схемы устройства, было разработано описание схемы на языке Verilog.

Для проведения верификации, была создана тестовая среда, написанная на Verilog. В ходе тестирования (Рис. 2) на входы разработанной модели подавались заранее определённые тестовые последовательности сигналов, при этом производилось сравнение выходных сигналов схемы, с ожидаемым идеальным состоянием выходов.

На рис. 2 представлена временная диаграмма сигналов тестируемой схемы. Входные комбинации сигналов считываются из файла – это позволяет не менять схему тестирования при изменении входных воздействий и делает тест более универсальным.

Анализ временных диаграмм, полученных в ходе тестирования, показал полное соответствие откликов разработанной и исходной схем на входные воздействия.

Моделирование схемы на уровне регистровых передач не может дать полной информации о задержке распространения сигнала в схеме, так как не учитывает ёмкость нагрузки, разброс параметров технологического процесса и другие факторы, но в то же время позволяет проверить логику работы на наличие ошибок и исправить их без проведения ресурсоёмких и обладающих большей вычислительной сложностью детальных видов тестирования [3].

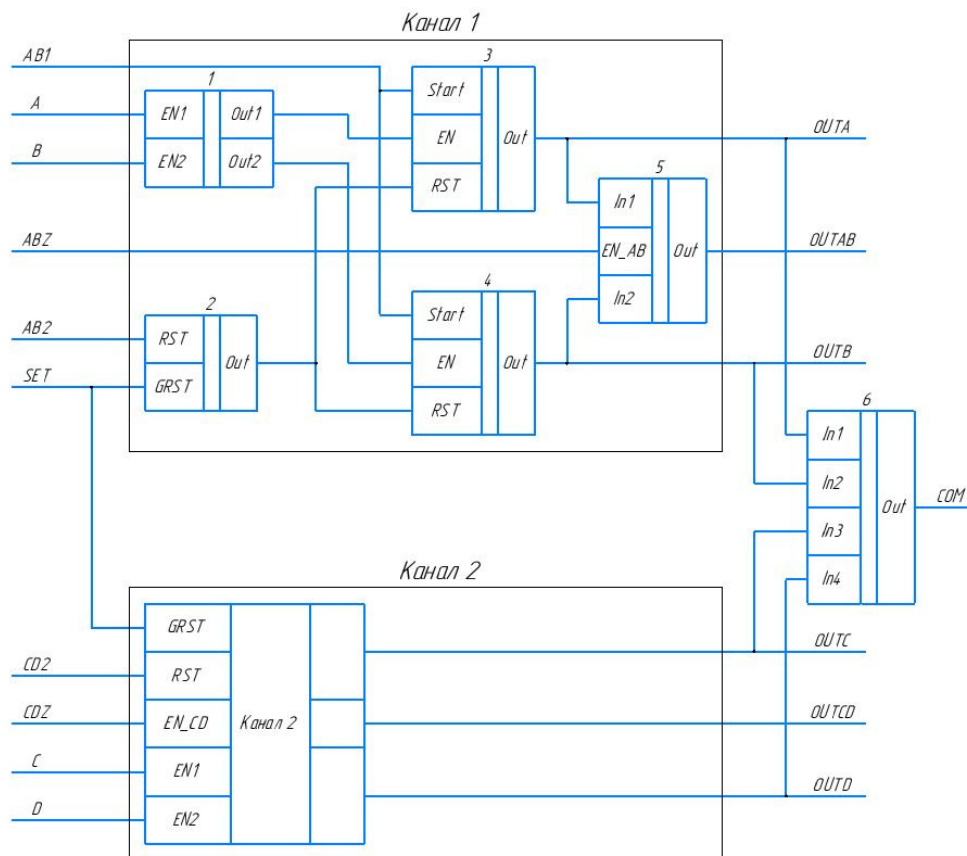


Рис. 1. Функциональная схема микросхемы

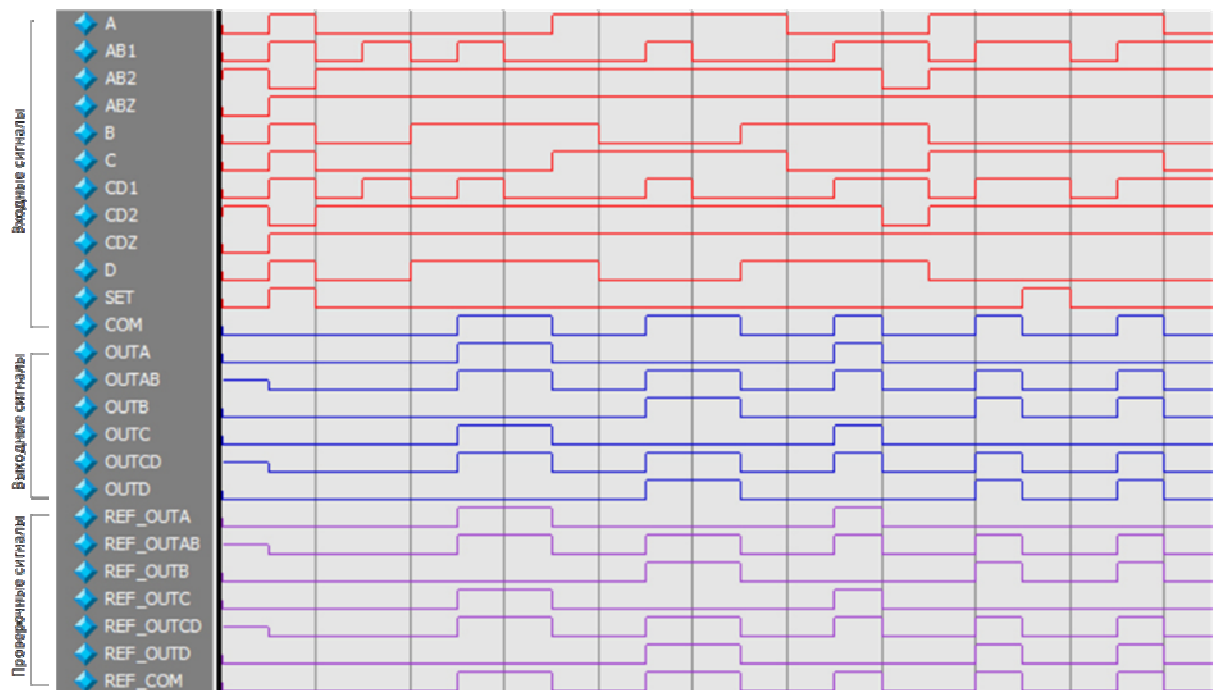


Рис. 2. Временная диаграмма сигналов тестируемой схемы в программе ModelSim. Входные сигналы: А – SET, выходные сигналы устройства: COM – OUTD, проверочная последовательность ожидаемых выходных сигналов: REF_OUTA – REF_COM

Следующим шагом после проведения верификации, является синтез схемы на элементной базе предоставляемой выбранной технологией. В процессе синтеза производится оптимизация схемы по различным параметрам: энергопотреблению, занимаемой площади и задержке распространения сигналов, также на схему накладываются временные ограничения [4]. На рис. 3. Представлена синтезированная схема устройства.

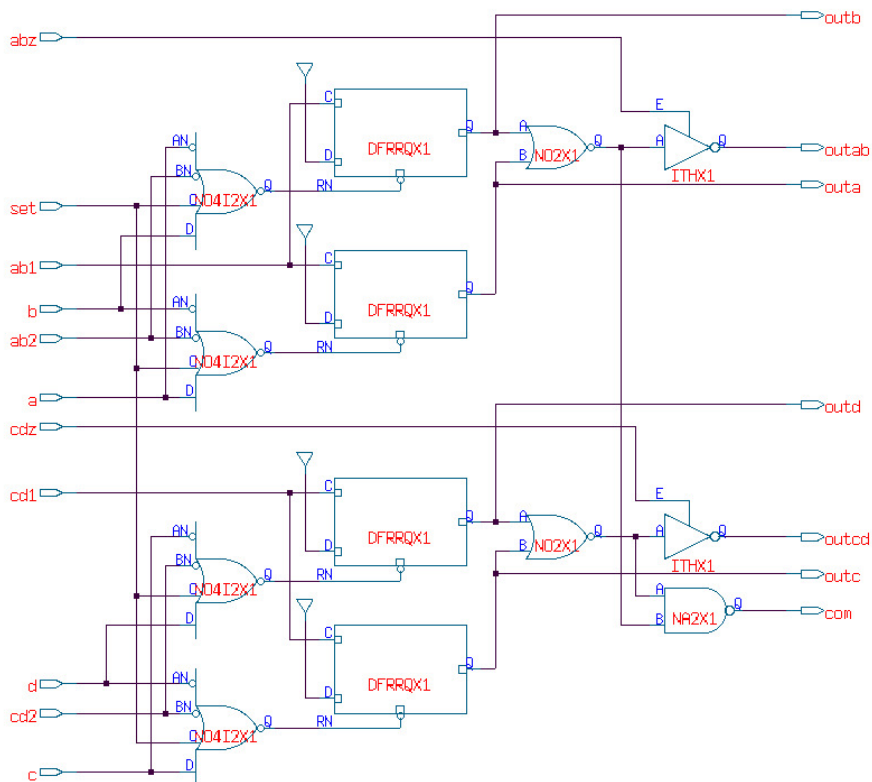


Рис. 3. Схема устройства, полученная в результате синтеза

Схема состоит из 4 D триггеров (DFRRQX1), имеющих вход асинхронного сброса с активным низким уровнем (RN), вход загрузки данных по переднему фронту тактового сигнала (C) и информационный вход D подключенный к логической единице.

Для формирования сигнала сброса D триггеров, в схеме используются элементы ИЛИ-НЕ с 4 входами (NO4I2X1), два из которых инверсны. Элементы ИЛИ-НЕ с 2 входами (NO2X1) и инвертирующий элемент с High Z состоянием (ITHX1) задают выходной сигнал на информационных выходах OUTAB и OUTCD. Также для задания выходного сигнала COM используется элемент И-НЕ (NA2X1) с двумя входами, на входы которого поступают сигналы формируемые элементами ИЛИ-НЕ (NO2X1).

Синтез схемы производился в ПО Cadence Genus, которая позволяет перевести Verilog описания схемы в список цепей (netlist) с цифровыми библиотечными логическими элементами предоставляемыми используемой технологией. Используемые при синтезе элементы и их количество указаны в табл. 1.

Элементы использованные при синтезе схемы

| Элемент | Количество, шт. | Площадь, мкм ² |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------|
| D триггер | 4 | 3 886,08 |
| Инвертор с High Z состоянием | 2 | 607,20 |
| ИЛИ-НЕ, 4 вывода (2 инверсные) | 4 | 2 185,92 |
| ИЛИ-НЕ, 2 вывода | 2 | 485,76 |
| И-НЕ, 2 вывода | 1 | 182,16 |
| Итого | 13 | 7 347,12 |

После проведения синтеза, полученную схему можно экспортировать в САПР для размещения компонентов схемы на кристалле и топологической разводки межсоединений. После создания топологии кристалла можно провести более детальное тестирования и верификацию, по сравнению с Model-Sim, а также измерить задержки распространения сигнала. К примеру, САПР Cadence Virtuoso позволяет учесть при тестировании влияние температуры на параметры транзисторов, разброс параметров технологического процесса, а также другие параметры полупроводниковых устройств.

Список литературы

- [1] *Veendrick, H. J. M. (Harry J. M.) Deep-submicron CMOS ICs: from basics to ASICs (2nd ed).* Kluwer, Dordrecht; London, 2000
- [2] *Tan, T.S., Rosdi, B.A. Verilog HDL Simulator Technology: A Survey.* J Electron Test 30, 255–269 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10836-014-5449-5>.
- [3] *Neil H.E. Weste. David Money Harris. CMOS VLSI Design. A Circuits and Systems Perspective. Fourth Edition.* - Addison-Wesley, 2015.
- [4] *C. Kumar, F. Maamari, K. Vittal, W. Pradeep, R. Tiwari and S. Ravi, «Methodology for Early RTL Testability and Coverage Analysis and Its Application to Industrial Designs,» 2014 IEEE 23rd Asian Test Symposium, Hangzhou, 2014, pp. 125-130. DOI: 10.1109/ATS.2014.33.*

Корнев Сергей Александрович – студент РПД.Б-81, Нет КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: s.kornev.tov@gmail.com

Андреев Владимир Викторович – профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

КОНСТРУКЦИЯ ДАТЧИКА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА В ТОЛСТЫХ ПЛЕНКАХ

Введение. Как известно, несмотря на постоянную модернизацию предприятий и самого процесса производства в сторону защиты окружающей среды, экологическая ситуация в мире стремительно ухудшается. Для того чтобы правильно и своевременно оценивать состояние воздушной среды люди всё чаще пользуются современными приборами для фиксирования различных показаний. В связи с этим необходима постоянная доработка данных приборов для повышения их автоматизации и точности измерений. Проведен анализ работы приборов газоанализатора, предложена конструкторская разработка датчика в формате толстых пленок для улучшения конструкторских и технических характеристик.

Для контроля концентрации различных веществ в воздухе чаще всего используют различные типы газовых сенсоров и газоанализаторов. Основными требованиями, предъявляемыми к газовым сенсорам, являются: высокая чувствительность, селективность измеряемых веществ, быстродействие, малая потребляемая мощность, низкая стоимость и простой процесс изготовления, стабильность при эксплуатации и возможность серийного производства.

Структура датчика газоанализатора. Существует три варианта исполнения устройства датчика: инфракрасные, электродные и полупроводниковые [1]. Последние являются лучшим выбором из соотношения себестоимости производства, точности и надежности. Первое поколение полупроводниковых датчиков было представлено в виде трубчатых подложек из оксида алюминия, на которые нанесен тонкий слой оксида олова (SnO_2), легированного элементами, обладающими каталитическими свойствами (Pt, Cu, Ni, Pd), чтобы обеспечить более высокую чувствительность полупроводника к конкретному типу газа примеси. При нагреве сенсора до рабочей температуры (около 400°C) при помощи нагревательного элемента, выполненного в конструктиве с датчиком, происходит адсорбция содержащегося в воздухе кислорода на поверхность сенсора, имеющую мелкозернистую структуру. Протекание адсорбции зависит от концентрации газа примеси. В результате поверхностных эффектов изменяется электрическая проводимость сенсора. Отклик датчика выражается через изменение его сопротивления в зависимости от концентрации газа, изменяющего адсорбцию кислорода на материале сенсора. Быстрота отклика зависит от модели датчика и конкретного газа примеси.

В работе предложена разработка конструкции датчика газоанализатора в формате толстых пленок. Он будет состоять из нескольких элементов: диэлектрической подложки, контактных площадок и проводящих слоев, нагревательного элемента с одной стороны и чувствительного элемента с другой.

Структура датчика из толстых пленок. В качестве нагревательного элемента необходимо использовать резистивный композитный материал,

имеющий в составе диоксид рутения (в сплаве с платиной повышает износостойкость элемента). Но такой нагреватель нестабилен и быстро выходит из строя. Для стабильной работы всей системы рекомендуется использовать стеклосвязующее вещество, содержащее боросиликаты щелочноземельных металлов с добавкой диоксида олова.

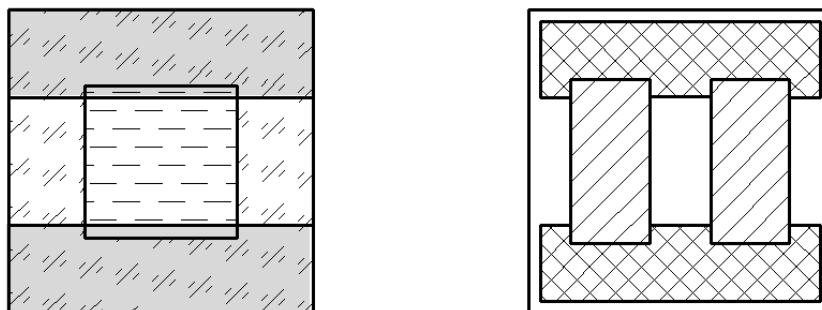


Рис. 1. Вид толсто пленочного датчика сверху и снизу

Проводящий материал для контактных площадок и элементов крепления по свойствам должен быть близок к свойствам нагревательного элемента, поэтому необходимо использовать пасты на основе серебра или палладия.

Соответственно, чувствительный элемент состоит из нескольких слоев: подложка из тонкого слоя оксида алюминия, на него нанесен слой оксида олова, который легируется необходимым металлом, в зависимости от типа измеряемого вещества. Образуется тонкий, прочный, пористый и высокочувствительный слой оксида. Эта технология пригодна и для массового производства сенсоров.

Селективность. Полупроводниковые сенсоры обладают важным преимуществом перед другими типами сенсоров, так как чувствуют и токсичные и горючие газы, но разделить сигналы от разных веществ у них очень трудно [2].

Обычно используют матрицу до 30 сенсоров, которые имеют чувствительные слои отличные друг от друга по чувствительности к разным компонентам. Положительным качеством метода является отсутствие в необходимости использовать сенсоры с полной селективностью к каждому измеряемому газу. Селективный сигнал от конкретного газа получают при последующей обработке информации, полученной с матрицы.

Способы измерения и получения данных. Существуют два способа измерения концентрации веществ с помощью газоанализатора: непрерывный и импульсный. При непрерывном методе датчик должен быть активирован и стабильно работать в течении всего цикла.

Известно, что каждая адсорбированная молекула имеет свою энергию активации, по которой легко определить, что это за молекула. Соответственно, достаточно короткого импульса, в течение которого будет выполнен фиксирование и анализ результатов. Этот метод называется импульсным и был открыт относительно недавно.

В качестве примера можно рассмотреть стандартную схему включения датчика в электрическую цепь (рис. 2). Напряжение цепи (V_C) подается через

чувствительный элемент, который имеет сопротивление (R_s) между двумя электродами датчика (контакты 2 и 3) и нагрузочным резистором (R_L), подключенным последовательно. Чувствительный элемент нагревается резистивным нагревателем, подключенным к штырькам 1 и 4.

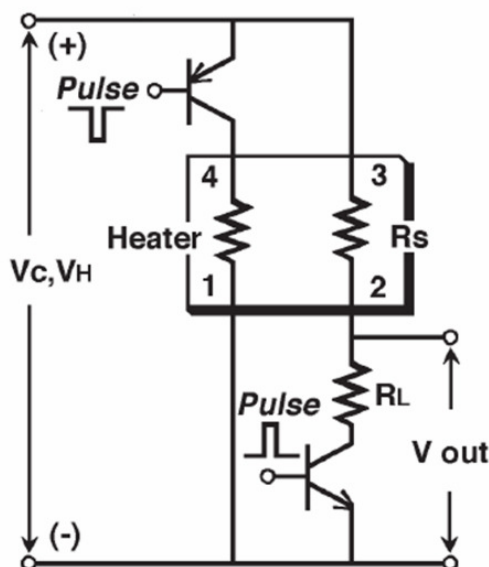


Рис. 2. Схема включения датчика электрическая принципиальная

Как показывают исследования, при увеличении концентрации веществ в воздухе, сопротивление чувствительного элемента увеличивается. Фиксирование и обработку этих измерений можно осуществить с помощью использования различных аналоговых и цифровых микросхем, или целого микроконтроллера (в случае использования матрицы датчиков) [3].

Заключение. Таким образом, переработка структуры датчика газоанализатора по толсто пленочной технологии имеет ряд преимуществ: уменьшение габаритных размеров готового устройства, использование новейших технологий для изготовления толсто пленочных структур, что обеспечивает качественное импортозамещение, а также уменьшает себестоимость изготовления. В статье приведены основные материалы, технологии и методы изготовления датчиков газоанализатора нового типа.

Список литературы

[1]. *Абдурахманов Э.* Разработка термокаталитических методов для создания высокоселективных автоматических анализаторов токсичных и взрывоопасных газовых смесей. // Авт. дис. на соис. уч. ст. док. хим. наук. Ташкент. 2004, 42 с.

[2]. *Муминова Н.И., Рахимова М.А., Сидикова Х.Г., Рашидова К.Х.* Селективные полупроводниковые сенсоры для определения содержания фтористого водорода // Молодой ученый. — 2016. — №11. — С. 126-128. — URL <https://moluch.ru/archive/115/30841/> (дата обращения: 16.03.2020).

[3]. *Шапошник А.В.* Распознавание запахов чая при термосканировании полупроводникового сенсора / А.В. Шапошник, Н.С. Демочко, Р.Б. Угрюмов,

С.В. Рябцев, А.В. Калач, И.Н. Назаренко // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2005. - Т. 5, № 4. – С. 561-567.

Литвиненко Александра Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга. E-mail: alexandralitvinenko1998@gmail.com

Гурин Виталий Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга. E-mail: vitaly.gurin918@yandex.ru

Адарчин Сергей Александрович – доцент кафедры «Материаловедение и химия», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Калуга. E-mail: adarchin@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

При измерении параметров полупроводниковых приборов в процессе их изготовления, например, МДП-структур, используется оборудование с ультранизкими рабочими токами, порядка $10^{-8} - 10^{-11}$ А. Такие малые токи необходимы, в частности, для исследования деградационных процессов в структурах и измерения тока утечки подзатворного диэлектрика. Однако, стандартные схемотехнические и конструкционные решения для создания электронной техники не позволяют создавать аппаратуру с такими характеристиками. В связи с чем, приходится экспериментировать как с различными электрическими схемами, так и с конкретными их реализациями.

Удельная электрическая проводимость стеклотекстолита различных марок различается, но практически всегда имеет порядок 10^{-10} См/м. Поэтому, делать платы из стеклотекстолита можно, если рабочие токи устройства имеют величину, на 1-2 порядка больше удельной проводимости. Для изготовления таких плат используют материалы, применяемые в СВЧ-технике: фольгированный фторопласт или керамику, что существенно сказывается на цене готового изделия. Керамику использовать еще потому сложно, что она, из-за своей хрупкости, с трудом поддается механической обработке. Также, токопроводящий рисунок на керамике формируют аддитивным методом, с последующим вжиганием меди, что усложняет процесс изготовления плат и ведет к удорожанию прототипирования устройства на этапе разработки.

Однако, есть более простой метод прототипирования устройств с низкими рабочими токами. Заключается он в комбинировании печатного и навесного монтажа. Те узлы и проводники схемы, которые чувствительны к токам утечки, делаются навесными проводниками в фторопластовой изоляции, а остальные – располагаются на плате.

Разберем данный метод на примере. На рис. 1 представлена схема измерительного блока установки для оценки качества подзатворного диэлектрика МДП-структур. Принцип работы её простой. Исследуемая структура включается в цепь обратной связи операционного усилителя. Операционный усилитель является источником тока, управляемым напряжением. Управляющее напряжение подается на вход ОУ с цифро-аналогового преобразователя. Блок резисторов в цепи обратной связи предназначен для ступенчатого изменения тока через структуру.

В данной схеме чувствительным к утечкам является инвертирующий выход операционного усилителя, к которому непосредственно подключена структура. В самом деле, ток с него на землю может стекать не только через добавочный резистор, но и по поверхности платы, что сделает погрешности измерения сравнимыми с измеряемыми величинами. А к этому входу еще

подключаются контакты электромагнитных реле, переключающих пределы измерения. Вывод: данные соединения нельзя выполнять печатным способом, требуется навесной монтаж.

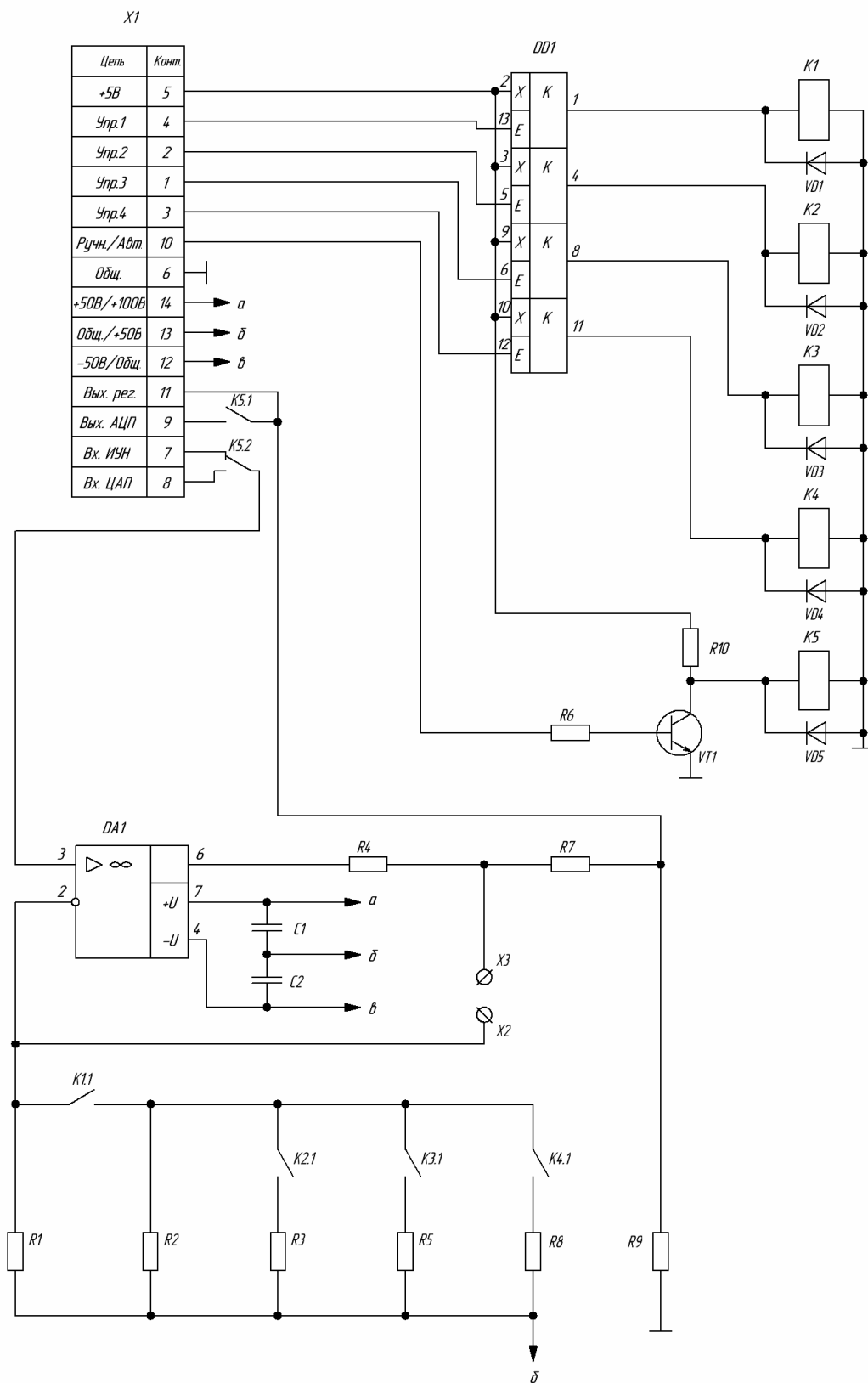


Рис. 1. Электрическая схема измерительного блока

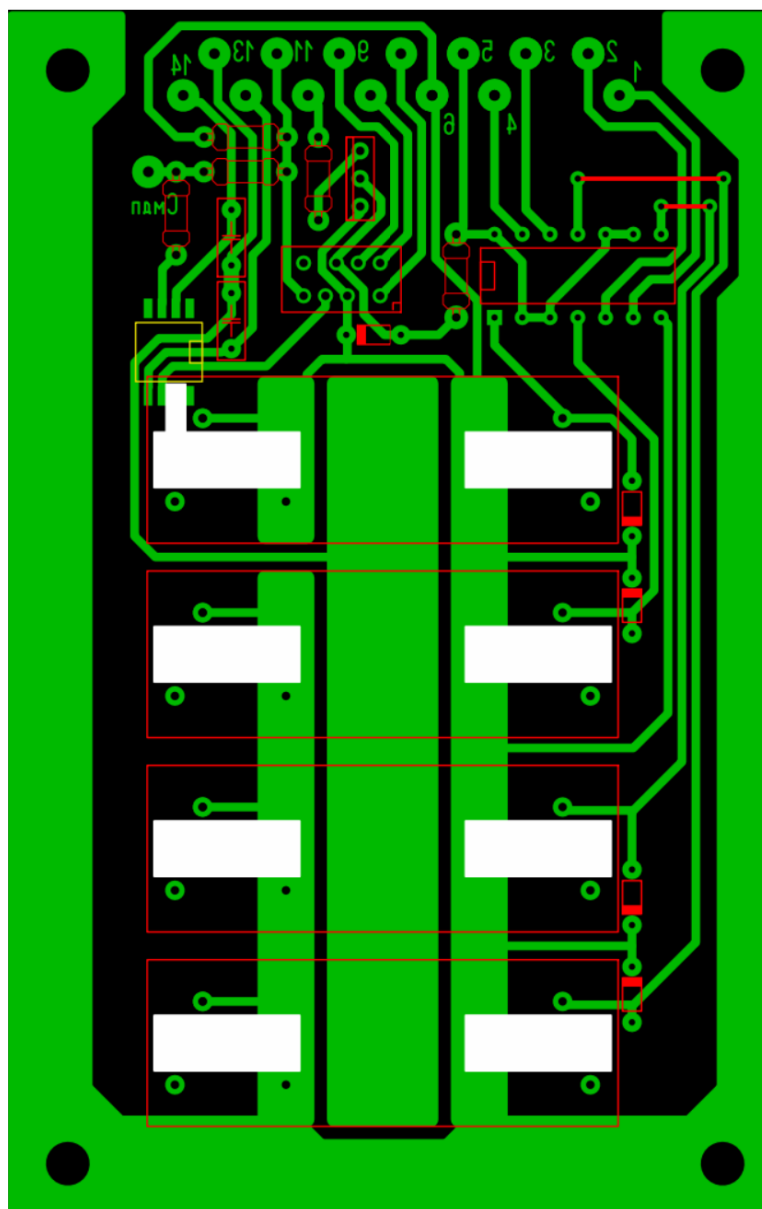


Рис. 2. Трассировка печатной платы измерительного блока

Практически это можно реализовать, выполнив фрезеровку окон в печатной плате вокруг чувствительных выводов, а также смонтировав добавочные резисторы навесным монтажом. Реализация такой платы показана на рис. 2. Операционный усилитель, использующийся в данной схеме, выполнен под поверхностный монтаж, что несколько усложняет монтирование перемычек. Для припайки к инвертирующему выводу, под ОУ выфрезерована полоса, в которую укладывается провод. Второй конец перемычки припаян непосредственно к контакту реле, и уже от этого контакта начинается распайка остальных навесных соединений. Под контакты реле, к которым будут припаиваться добавочные резисторы, в плате выфрезерованы окна. Земляной контакт добавочных резисторов припаивается к центральному полигону на плате, отделенному от основной земли диэлектрической полосой. Это нужно для переключения напряжения питания усилителя, т.к. он может работать в однополярном и в двухполярном режиме.

Таким образом, при прототипировании устройств с низкими токами утечки, вовсе необязательно изготавливать платы из специальных материалов. При тщательном анализе конструкции и использовании простых конструктивных решений можно сделать плату с высокими электрофизическими характеристиками, из распространенных материалов и на доступном оборудовании.

Кондрашов Павел Вячеславович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: p.kondrashov.radio@yandex.ru

Научный руководитель: Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmsstu-kaluga.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖА КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ НА ВНОСИМЫЕ ЕЙ ПОМЕХИ

Введение. Измеренные на практике параметры помехоподавляющего фильтра обычно далеки от теоретически рассчитанных. Это происходит из-за влияния на них помех вносимых компонентами. Одним из элементов используемых для построения пассивных фильтров является катушка индуктивности, генерирующая электромагнитное поле, которое за счет элементов крепления вносит помехи влияющие на работу фильтра [1]. Современные САПР для электродинамического моделирования позволяют оценить данное влияние на этапе синтеза фильтра, благодаря чему возможно подобрать материал или конструкционное решение приводящие к снижению помех. Для проведения анализа была выбрана САПР HFSS, потому что в ней наиболее полно реализован метод конечных элементов [2].

Экспериментальная часть. Для оценки вносимых элементами крепежа катушки индуктивности помех была создана модель приведенная на рисунке 1. Она состоит из металлического основания, на котором посредством винта, гайки, и металлической чашки с резиновой шайбой закреплен дроссель индуктивностью 500 мкГн, представляющий собой ферритовое кольцо с намотанным на нем медным проводом, помещенное в диэлектрический кожух. Трехмерная модель исследуемого дросселя была разработана в программе Компас-3D, системе трехмерного проектирования, которая сочетает простоту освоения и легкость работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования. Ключевой особенностью САПР является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами компании АСКОН. КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет эффективно взаимодействовать с пакетом HFSS [3].

Как видно из приведенных рисунков напряженность электрического поля на порядок ниже для диэлектрического крепежа.

Заключение. В результате выполнения работы был проведен сравнительный анализ двух моделей дросселей входящих в состав помехоподавляющего фильтра и было установлено, что применение диэлектрического крепежа уменьшает напряженность поля вокруг элемента, что позволяет снизить помехи вносимые катушкой индуктивности.

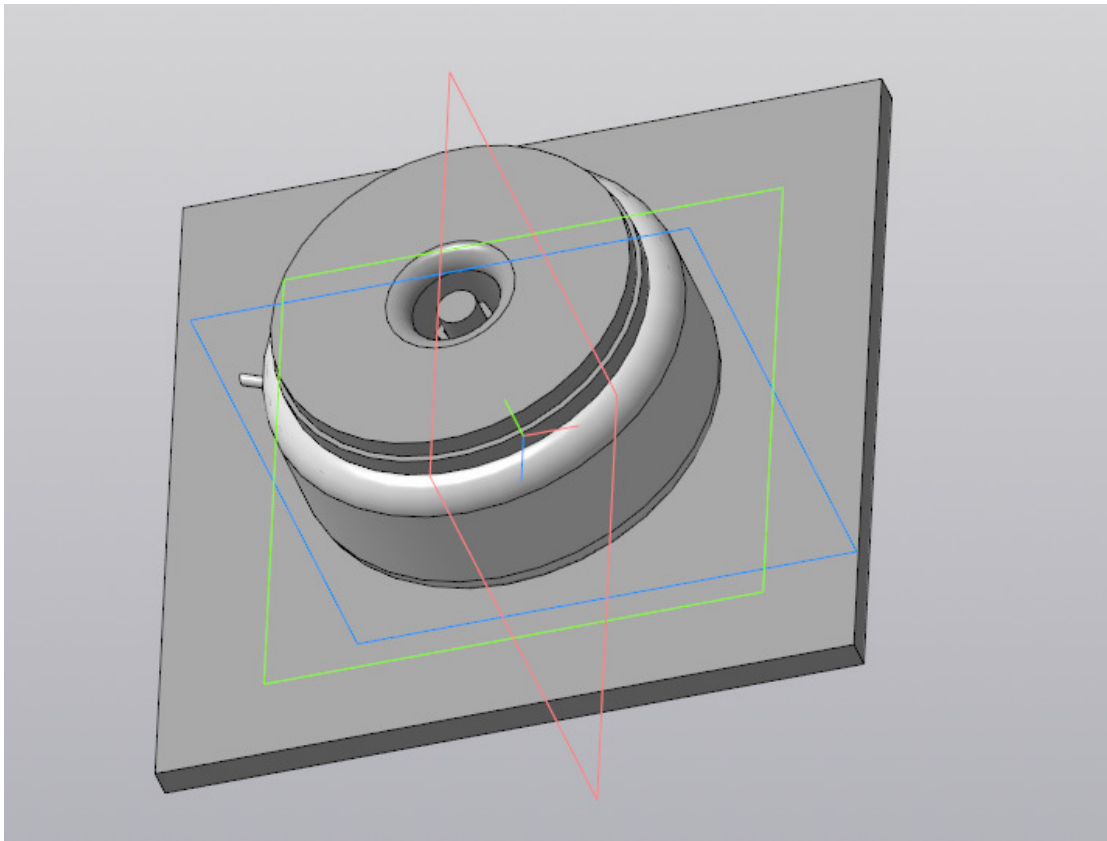


Рис. 1. Модель созданная для проведения оценки

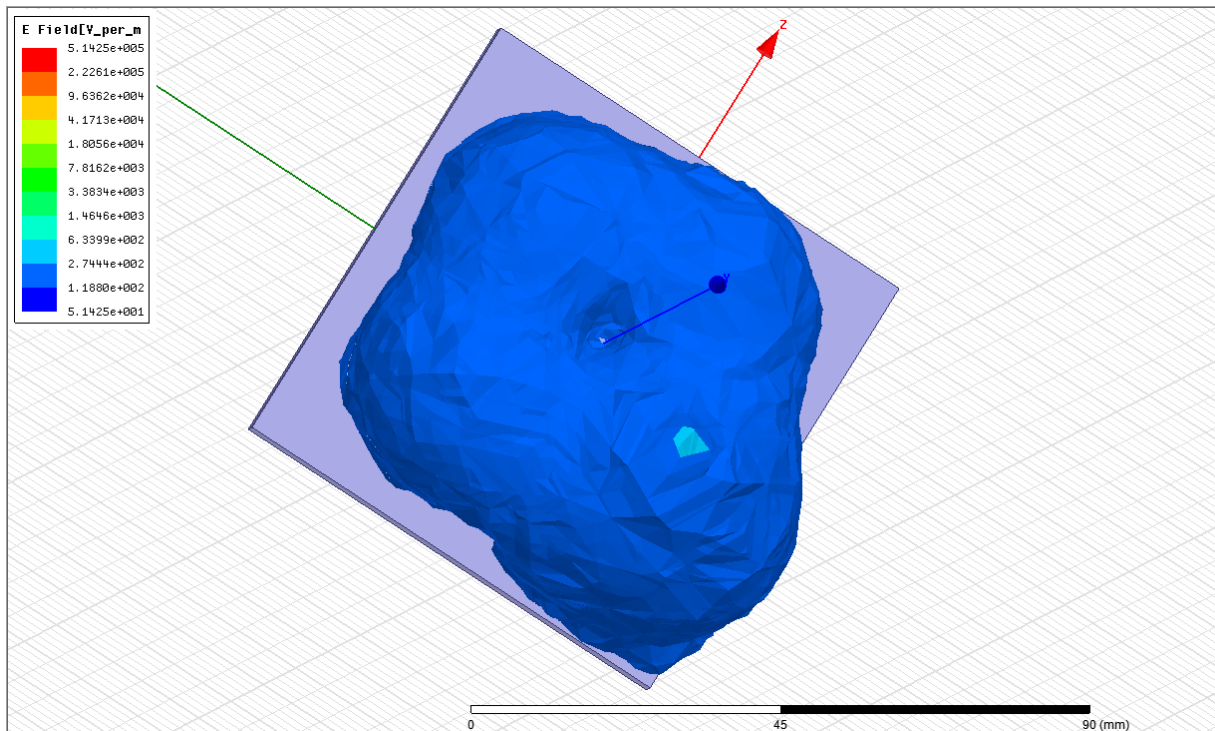


Рис. 2. Результаты моделирования для стального крепежа

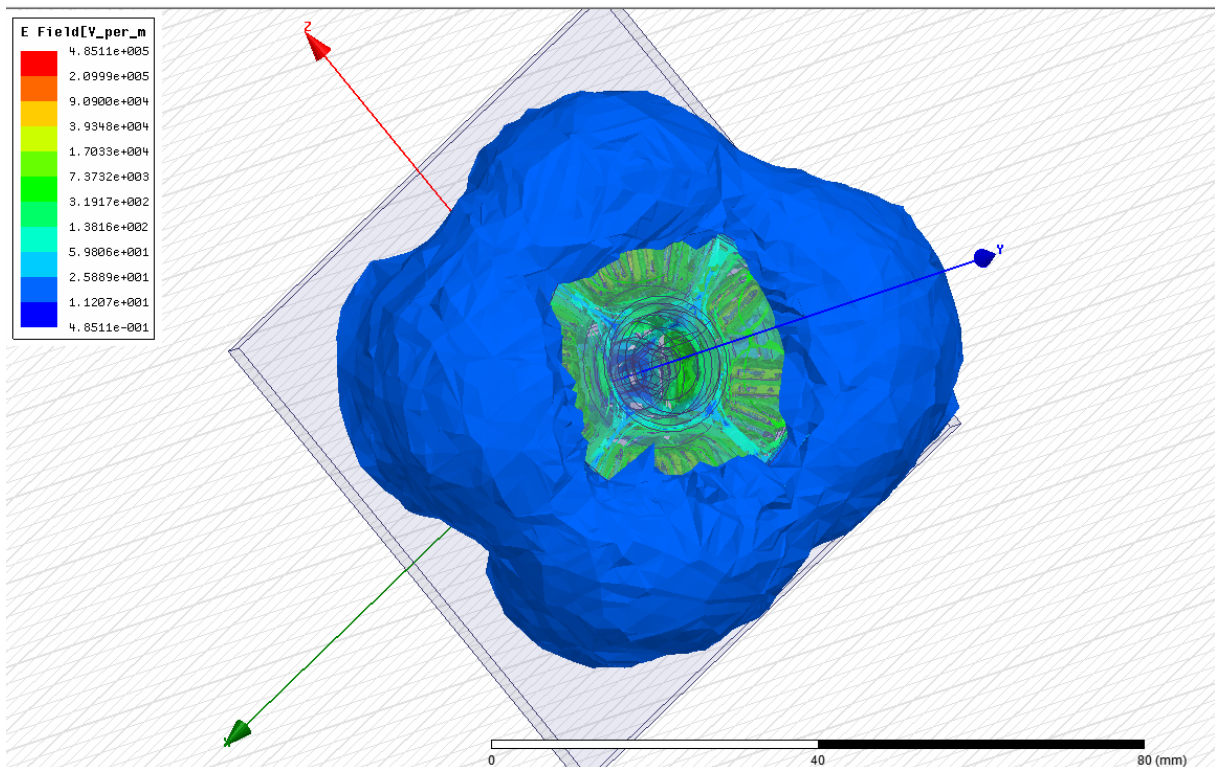


Рис. 3. Результаты моделирования для пластикового крепежа

Список литературы

- [1] *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. — Изд. 4-е, стереотипное. — М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. — Т. III. Электричество. — 656 с.
- [2] *Банков С.Е., Курушин А.А.* ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ И АНТЕНН С Ansoft HFSS – М, 2009, 736 с.
- [3] *Большаков В.П., Тозик В.Т., Чагина А.В.* Инженерная и компьютерная графика. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 288 с.

Саввин Михаил Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 79108644148@yandex.ru

ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

1. Применительно к системам передачи информации принцип адаптации заключается в

- (а) изменении параметров или (и) структуры системы (алгоритма)
- (б) на основе прошлого опыта
- (в) с целью улучшения эффективности функционирования
- (г) в условиях неизвестности (изменчивости) внешних условий.

В зависимости от того, как будет уточнен и формализован каждый из пунктов (а) – (г) приведенного выше неформального («наивного») принципа адаптации, может быть получен тот или иной строгий и формализованный его вариант.

2. Процесс передачи сообщений можно представить в виде суперпозиции операторов, описывающих последовательность преобразований, которых подвергается исходный сигнал, поступающий от источника сообщения,

$$\hat{s}(t) = L_{\text{пп}} K L_{\text{пд}} s(t).$$

Здесь $s(t)$ - исходный сигнал источника, $L_{\text{пд}}$ - оператор передатчика (обобщенное кодирование), K - оператор преобразования сигналов в канале (обычно, стохастический), $L_{\text{пп}}$ - оператор приемника (обобщенное декодирование), $\hat{s}(t)$ - сигнал, поступивший к получателю. Оператор $L_{\text{пд}}$ есть отображение

$$L_{\text{пд}} : \{s\} \rightarrow \Pi_n S_n,$$

где, S_n - конечное множество (алфавит сигналов). В обычных условиях S фиксировано, а при адаптивном управлении сигналами упомянутое изменение структуры (а) осуществляется в виде изменения элементов множества S (сигналов), их числа (объема алфавита) и, возможно, самого отображения $L_{\text{пд}}$, а так же, в согласованном изменении $L_{\text{пп}}$

Пусть, далее, $h(t)$ - случайный, в общем случае векторный, процесс, зависящий как от внешних условий (состояния канала $\bar{\mu}(t)$), так и от S , и называемый состоянием системы: $\bar{h} = \bar{h}(S, \bar{\mu}(t))$. При аддитивной помехе типа «белый шум» за параметр состояния часто принимается величина отношения сигнал/помеха. Качество передачи определяется функционалами, заданными на траекториях $\bar{h} : \Phi = \Phi(\bar{h}(S, \bar{\mu}(t)))$

3. Традиционные для теории связи задачи синтеза и анализа применительно к рассматриваемой ситуации трансформируются в задачи синтеза алгоритма управления сигналами и анализа эффективности такого управления.

Синтез управления заключается в отыскании

$$S^* : \Phi(\bar{h}(S^*, \bar{\mu}(t))) = \max_S (\min) \Phi(\bar{h}(S, \bar{\mu}(t))) .$$

Как правило, S принадлежит к некоторому параметрическому классу множеств, $S = S(\bar{\alpha})$. Это означает, что функциональная структура каждого из возможных сигналов задана и адаптация производится путем изменения их параметров. Тогда управление сводится к отысканию вектора параметров

$$\bar{\alpha}^* : \Phi(\bar{h}(\bar{\alpha}^*, \bar{\mu}(t))) = \max_{\bar{\alpha}} (\min) \Phi(\bar{h}(\bar{\alpha}, \bar{\mu}(t))) \quad (1)$$

Подчеркнем, что (1) зависит от времени. Иначе говоря, в процессе функционирования системы задача (1) должна решаться многократно, в пределе – непрерывно. Из изложенного следует, что алгоритм управления определяется методом решения экстремальной задачи (1) и способами её аппаратной или программной реализации.

Необходимость постоянного изменения сигналов диктуется изменчивостью внешних условий, т.е. изменениями состояния канала. Поэтому в системе должно быть предусмотрено наблюдение за $\bar{\mu}$ и оценивание его значений, либо величин, связанных с ним. Поискные методы решения (1) в большинстве случаев неприемлемы. Оценивание $\bar{\mu}$ возможно реализовать лишь в приемной части системы и, следовательно, необходим канал обратной связи (о.с.), по которому нужная информация может быть сообщена в передающую часть, где и осуществляется собственно формирование сигналов. При этом неизбежно возникают искажения, обусловленные разнообразными реальными факторами.

4. Из изложенного следует, что интерес могут представлять два класса оценок: оценки потенциальной эффективности и оценки реальной эффективности. Оценки потенциальной эффективности дают границу значений функционала Φ , достижимую лишь потенциально. Они определяются для условий абсолютной безошибочности и безынерционности функционирования всех элементов системы, что возможно лишь теоретически. Если предположить, как это обычно делается, что стохастические процессы обладают эргодическим свойством, то показатели эффективности можно записать в виде функционалов от функции плотности (ф.п.) $f(\bar{h})$ случайного процесса $\bar{h}(t) : \Phi = \Phi(f(\bar{h}))$. Таким образом, задача оценки потенциальной эффективности сводится к отысканию $f(\bar{h})$ по заданным ф.п. процесса $\bar{\mu}(t)$ и найденной зависимости (1) параметров $\bar{\alpha}$ от $\bar{\mu}$ и известной зависимости $\bar{h}(\bar{\alpha}, \bar{\mu})$ с последующим определением $\Phi(f(\bar{h}))$.

К числу факторов, снижающих реальную эффективность по сравнению с потенциальной, относятся неточность наблюдения за $\bar{\mu}$, запаздывание сигналов в прямом и обратном каналах, искажения в канале об.св. и др. При этом представляется интерес как совокупное, так и раздельное влияние на эффективность каждого и таких факторов.

Неточность наблюдения за $\bar{\mu}$ определяется алгоритмом и условиями ра-

боты элементов системы, предназначенных для получения оценки $\bar{\mu}$. Поскольку вектор $\bar{\alpha}$ определяется по $\bar{\mu}^*$, то $\bar{h} = \bar{h}(\bar{\alpha}(\bar{\mu}^*), \bar{\mu})$ и реальная эффективность составит $\Phi^* = \int \Phi(f(\bar{h}(\bar{\alpha}(\bar{\mu}^*), \bar{\mu}))) d\bar{\mu}^*$.

Запаздывание в каналах можно рассматривать как своеобразный вид неточности, когда в качестве оценки принимается значение самого процесса, отстоящее во времени на интервал запаздывания τ ,

$$\Phi^*(\tau) = \int \Phi(f(\bar{h}(\bar{\alpha}(\bar{\mu}_\tau), \bar{\mu}))) d\bar{\mu}_\tau, \text{ где } \bar{\mu}_\tau = \bar{\mu}(t - \tau).$$

Наконец, ошибки в управлении определяются видом о. св. Как правило, такая об. св. имеет характер решающей, т.е. вектор $\bar{\alpha}$ определяется в приемной части системы и его значения сообщаются на передачу. Исследование точности в этом случае представляет собой самостоятельную задачу, «вложенную» в основу, а результатом её решения должно быть определение условной ф.п. $f(\bar{\alpha}_1 / \bar{\alpha})$, либо матрицы $\square p(\bar{\alpha}_1 | \bar{\alpha})$ переходных вероятностей (в дискретном случае). Здесь $\bar{\alpha}$ - вектор параметров в приемной части, $\bar{\alpha}_1$ - такой же вектор, полученный в передающей части. При этом следует иметь в виду, что во многих случаях ошибки в обратном канале могут привести к полному обрыву связи вследствие рассогласования приемной и передающей частей системы. Следовательно, характеристики обратного канала и сигналов в нем должны быть выбраны таким образом, чтобы вероятность такого обрыва не превышала заданной.

5. Приведенные соотношения носят общий и достаточно абстрактный характер. Для дальнейшего необходимо конкретизировать ситуацию. Конкретными примерами адаптации сигналов могут служить:

- частотная адаптация. В этом случае форма сигналов фиксирована, управляемый параметр $\alpha = \omega$ - рабочая частота;
- совместная (коллективная работа) частотно-адаптивных систем в общем диапазоне. Управляемый параметр $\bar{\alpha} = (\omega_1, \dots, \omega_N)$, ω_n - частота n -й линии;
- адаптация мощности в одиночном и коллективном вариантах. Управляемый параметр $\alpha = A$ ($\bar{\alpha} = (A_1, \dots, A_N)$), A_n - амплитуда сигнала n -й линии;
- адаптация технической скорости. Управляемый параметр $\alpha = T$ - длительность элементарного сигнала;
- системы с автозапросом. В этом случае применено двухступенчатое кодирование, где внутренняя ступень - к. л. групповой код, декодируемый в режиме обнаружения ошибок, внешняя ступень - код с повторениями $(n, 1)$. Параметр $\alpha = n$ - количество повторений;
- совместная адаптация технической скорости и скорости кода

$$\bar{\alpha} = \left(T, \frac{K}{n} \right), \text{ технической скорости и частоты } \bar{\alpha} = (T, \omega) .$$

Список литературы

[1]. *Марин В.П., Челенко А.В., Шмаков Н.В., Коржавый А.П.* Эффективность научно-образовательных центров, функционирующих в промышленно развитых муниципальных образованиях. – 2019. Т. 20. № 2. С. 66-73.

[2]. *Карькин И.Н., Карькина Л.Е., Горностырев Ю.Н., Коржавый А.П.* Кинетика ранних стадий распада в разбавленном ОЦК-сплаве Fe-Cu-Ni-Al: MC+MD-моделирование. – 2019. Т. 61. № 4. С. 724-731

[3]. *Шкилев В.Д., Коржавый А.П., Рейхерт Н.Д.* Анализ перспективных патентов по безракетному запуску грузов и пассажиров в космос. – Электронный журнал: наука, техника и образование. 2019. № 2 (24). С. 6-15.

[4]. *Шкилев В.Д., Коржавый А.П., Герасимова Н.С., Хайченко В.Е.* Способ получения фуллеренов и устройство для его осуществления. – Патент на изобретение RUS 2675865 13.12.2017.

[5]. *Брокмиллер Н.Н., Шкилев В.Д., Коржавый А.П., Мелещенко Д.И.* Способ циркуляционного ионного азотирования изделий из металла и устройство для его осуществления. – Патент на изобретение RUS 2650650 01.11.2016.

[6]. *Шаталов В.К., Лысенко Л.В., Шкилев В.Д., Горбунов А.К., Коржавый А.П.* Способ получения защитных покрытий на поверхности металлов и сплавов. – Патент на изобретение RUS 2655399 04.03.2016.

[7]. *Korzhaviy A.P., Prasitskii V.V., Prasitskii G.V.* Heat-removing and emitting compositions based on W and PD powders: a study of the production processes and structures. – Metal Science and Heat Treatment. 2018. Т. 60. № 3-4. С. 200-205.

[8]. *Беккель Л.С., Шкилев В.Д., Коржавый А.П.* Исследование явления интерференции при электрическом пробое твердого диэлектрика. – Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 6. С. 25-29.

[9]. *Беккель Л.С., Шкилев В.Д., Коржавый А.П.* Расчет напряжения электрического поля для пробоя промежутка «воздух–твердый диэлектрик». – Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 8. С. 46-52.

[10]. *Устинов И.К., Волков А.В., Шестернина Е.А., Коржавый А.П.* Сушественная зависимость предельной деформации титановых сплавов. – Электромагнитные волны и электронные системы. 2018. Т. 23. № 5. С. 49-55.

[11]. *Коржавый А.П., Прасицкий Г.В.* Способ изготовления изделий из псевдосплавов вольфрам-медь. – Патент на изобретение RUS 2607478 08.09.2015.

[12]. *Коржавый А.П., Прасицкий Г.В.* Способ изготовления изделий из псевдосплавов молибден-медь. – Патент на изобретение RUS 2628233 23.11.2016.

[13]. *Шкилев В.Д., Коржавый А.П., Федоренко Е.И., Букреев И.П.* Устройство для преобразования ветра. – Патент на изобретение RUS 2638232 01.11.2016.

[14]. *Shatalov V.K., Korzhaviy A.P., Lysenko L.V., Mikhaylov V.I., Blatov A.A.*

Increasing the strength of the deposits of titanium alloys using rods process by microarc oxidation. – Welding International. 2017. Т. 31. № 12. С. 964-968.

Панькин Михаил Олегович – студент ПТМ.И-42 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pankin_misha_40rus@mail.ru

Горбунов Александр Константинович – доктор физико-математических наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга. E-mail: kf_bmstu_fiz@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Интегральные датчики температуры (ИДТ) являются одной из главных составляющей многих электронных устройств. ИТД обеспечивают требуемые характеристики аппаратуры в широком диапазоне температур, оптимальный тепловой режим ее элементов и защиту от перегрева [1,2].

В данной работе рассматривается двухвыводная интегральная схема (ИС), на выходе которой вырабатывается напряжение пропорциональное абсолютной температуре в °К (рис. 1).

Рабочий диапазон данного датчика температуры от -60 до $+125$ °С, с допуском ± 2 °С (± 20 мВ по выходу).

Принцип работы датчика основан на фундаментальном свойстве кремниевых транзисторов, определяемых формулой Эберса – Молла [3]:

$$I_{\varepsilon} = I_0 \cdot S_{\varepsilon} \cdot e^{\frac{qU_{\text{бэ}}}{k \cdot T}}, \quad (1)$$

где I_{ε} - ток эмиттера, I_0 - ток насыщения; $U_{\text{бэ}}$ - напряжение «база-эмиттер» транзистора; q - заряд электрона; k - постоянная Больцмана; S_{ε} - площадь эмиттера транзистора; T - температура.

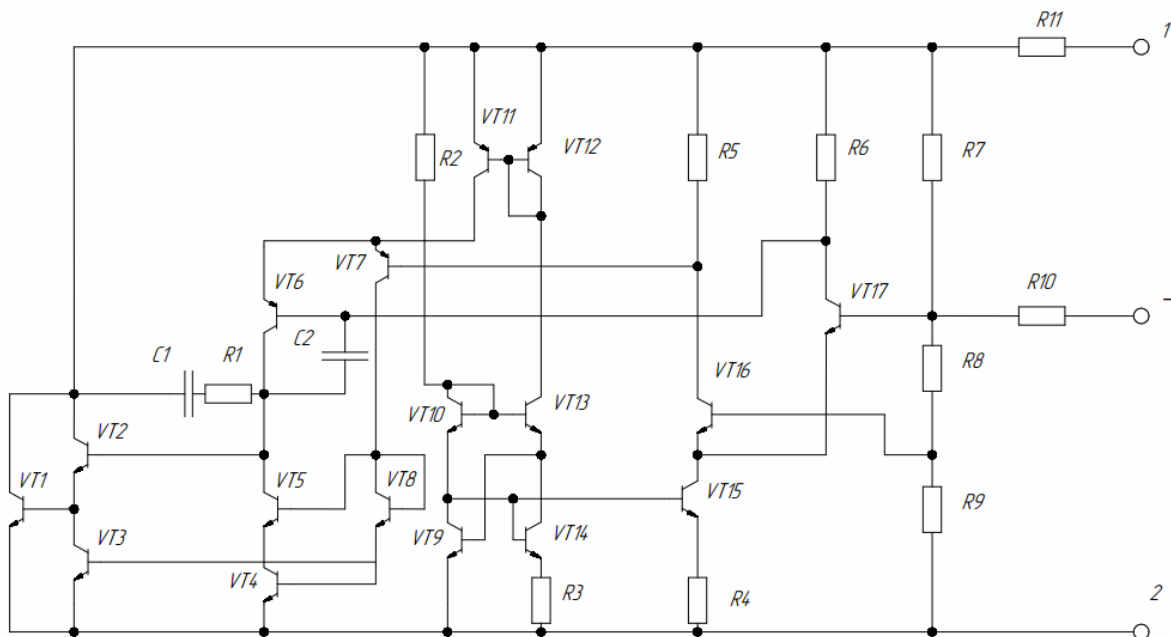


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема интегрального датчика температуры

Выходное напряжение датчика определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = \Delta U_{\text{бэ}} \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{бэ}$ - разность напряжений «база-эмиттер» транзисторов VT16 и VT17.

В результате исследовательской работы были рассчитаны теоретические значения выходного напряжения ИДТ в четырех точках температуры: 298 °K; 333 °K; 353 °K; 373 °K.

Экспериментальные измерения, для шести групп схем, состоящих из двадцати единиц каждая, показали, что реальные значения выходного напряжения датчика температуры отличаются от теоретических значений в выбранных точках температуры (рис. 2).

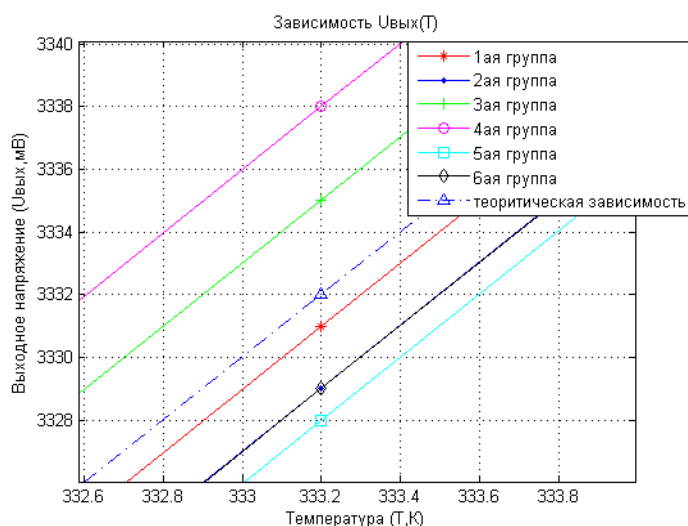


Рис. 2. Зависимости реальных выходных напряжений в сравнении с теоретической зависимостью

Повышение точности измерений выходного напряжения достигается корректировкой значения коэффициента обратной связи (K_{oc}).

Коэффициент обратной связи рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{oc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3}, \quad (3)$$

Для корректировки коэффициента необходимо изменить размер резисторов, составляющих делитель напряжения в схеме, схематично показанной на рис. 3.

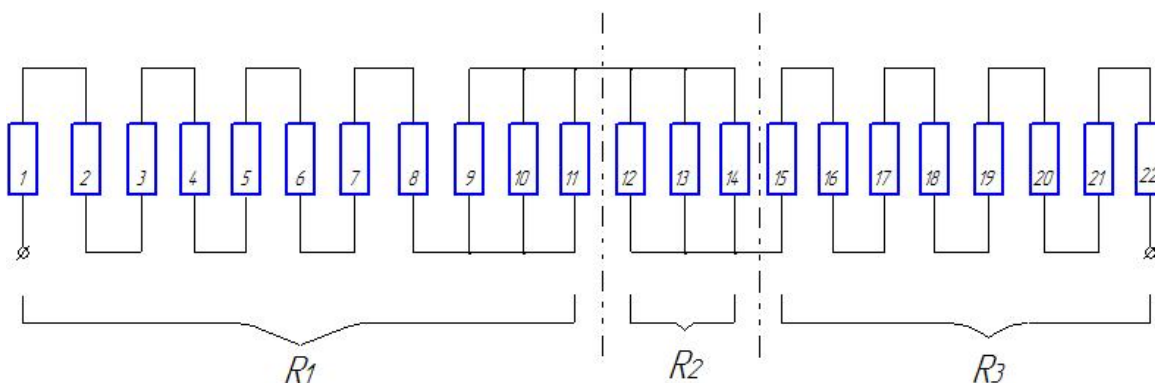


Рис. 3. Схематичное изображение делителя напряжения интегрального датчика температуры

На рис. 4 видно, что после корректировки K_{oc} количество схем, выходящих за пределы допустимой нормы выходного напряжения (± 10 мВ) значительно уменьшилось.

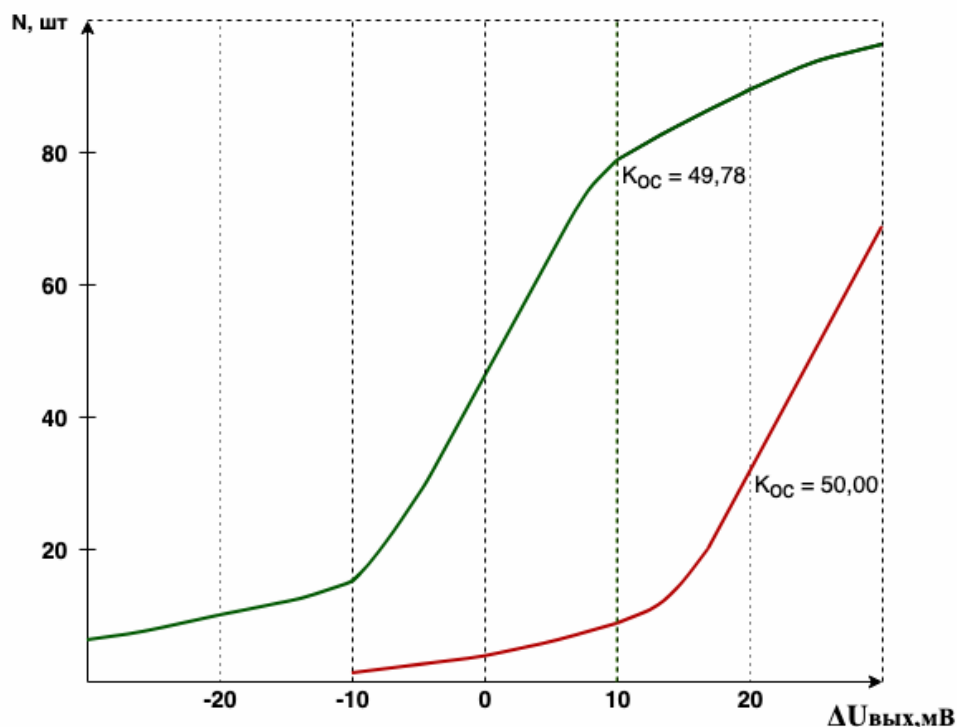


Рис. 4. Графики отклонений $U_{\text{вых}}$ от нормы для схем с различными K_{oc}

Для скорректированного коэффициента обратной связи ($K_{oc} = 49,78$) доля схем попадающих в пределы допустимого отклонения составляет 72%, а для схем без корректировки ($K_{oc} = 50$) – 9%.

Таким образом, корректировка коэффициента обратной связи позволила добиться уменьшения погрешности измерения выходного напряжения ИДТ.

Список литературы

- [1]. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.
- [2]. *Linear/Mixed-Signal Designer's Guide Summer 2002*. National Semiconductor. 2002.
- [3]. Kester W., Brian J., Jung W.. Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning. Чаp. 7. Перевод в журнале «Схемотехника». 2000. № 3.

Перминова Алина Дмитриевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: aleshenko.lina@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович – профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ УСТАНОВКИ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Электроизмерительные приборы и устройства широко используют в промышленности непосредственно для контроля производственных процессов и управления ими [1]. Увеличение степени интеграции изделий микро- и наноэлектроники обуславливает необходимость повышения их надежности [2-3].

В процессе разработки конструкций радиоэлектронных средств постоянно возникает задача расчёта и анализа тепловыделения, на основании чего производится выбор конструктивных решений при проектировании.

Разработанная установка испытаний электромагнитных устройств имеет большую плотность монтажа. Это устройство должно быть надежным, поэтому необходимо исключить возможность отказа его работы и появления неточностей сигналов из-за перегрева отдельных компонентов.

Пакет Mentor HyperLynx Thermal позволяет выполнить необходимые температурные расчеты.

Так как изначально конструирование установки испытаний проводилось в пакете Altium Designer, то устройство придется транслировать в пакете Mentor. Такая трансляция возможна в современных САПР и занимает несколько минут. В пакете Mentor необходимо составить netlist проекта из пакета Altium и затем транслировать вначале схему электрическую принципиальную, затем печатную плату. После этого необходимо соединить оба проектных файла (рис. 1).

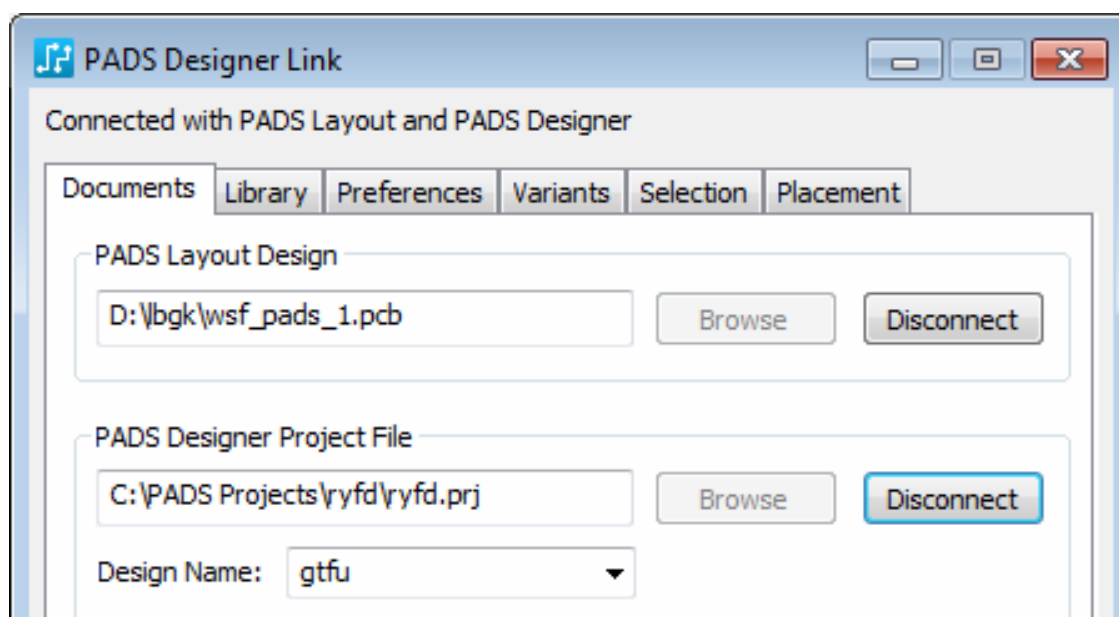


Рис. 1. Окно настроек проектных файлов

После проведенной подготовки становится возможным провести температурный анализ устройства.

Для данного устройства были проведены расчеты максимальной рассеиваемой мощности (рис. 2, 3), температуры нагрева платы (рис.4) и градиента температуры (рис. 5).

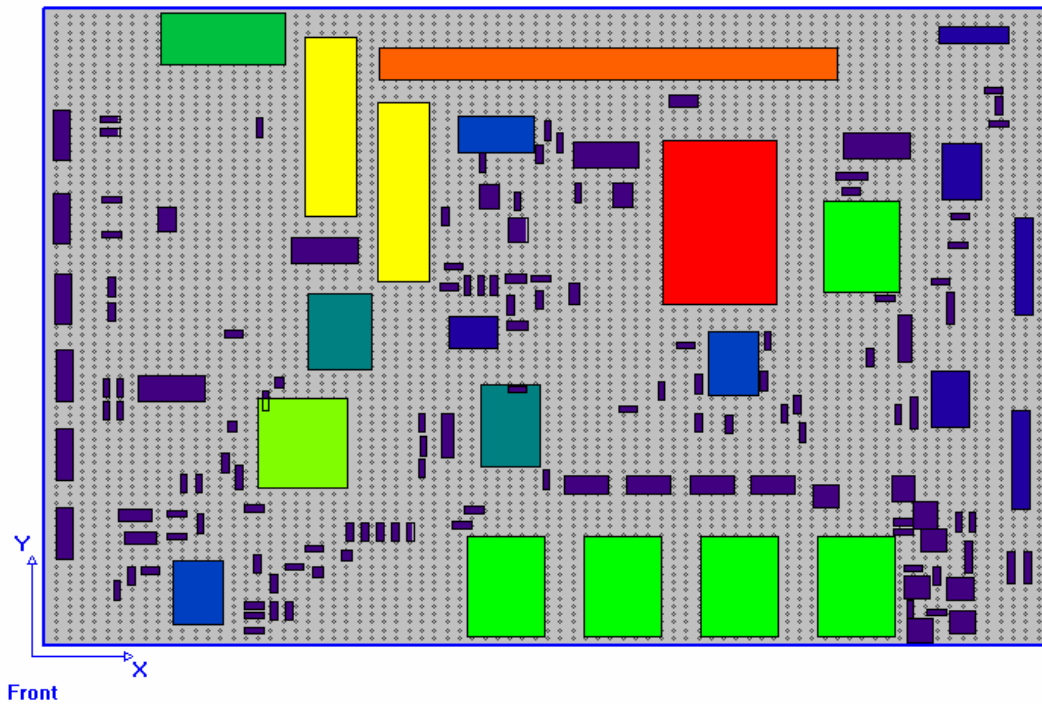


Рис. 2. Расчет максимальной рассеиваемой мощности верхней части платы

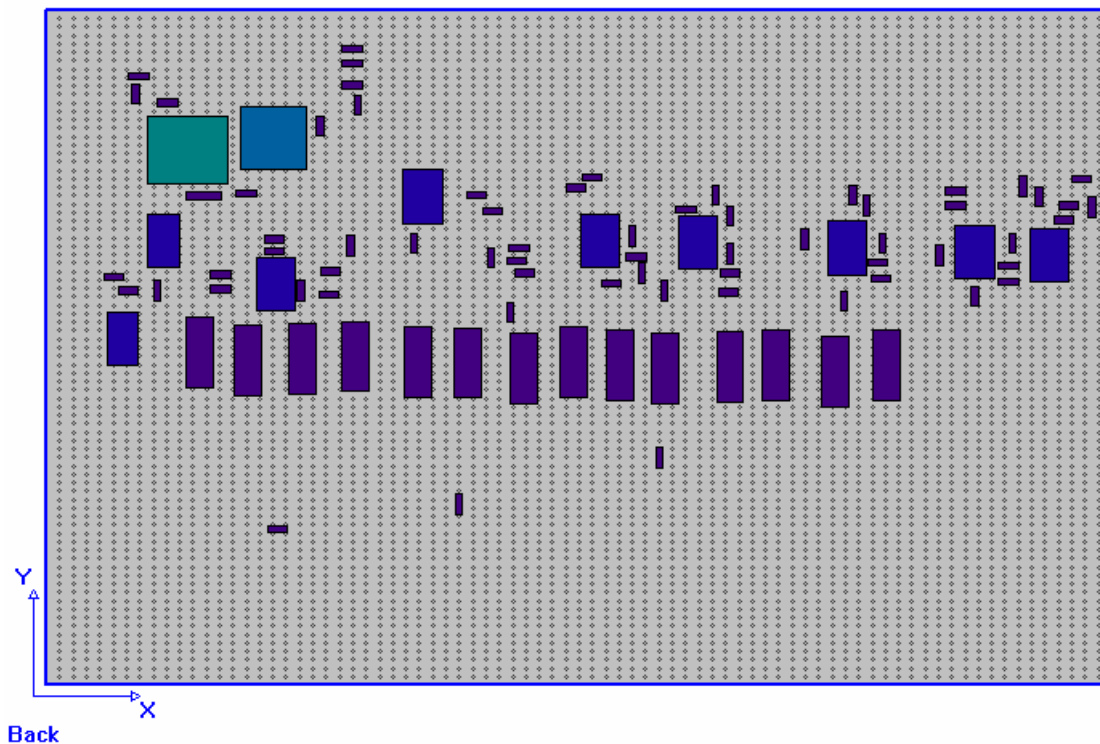


Рис. 3. Расчет максимальной рассеиваемой мощности нижней части платы

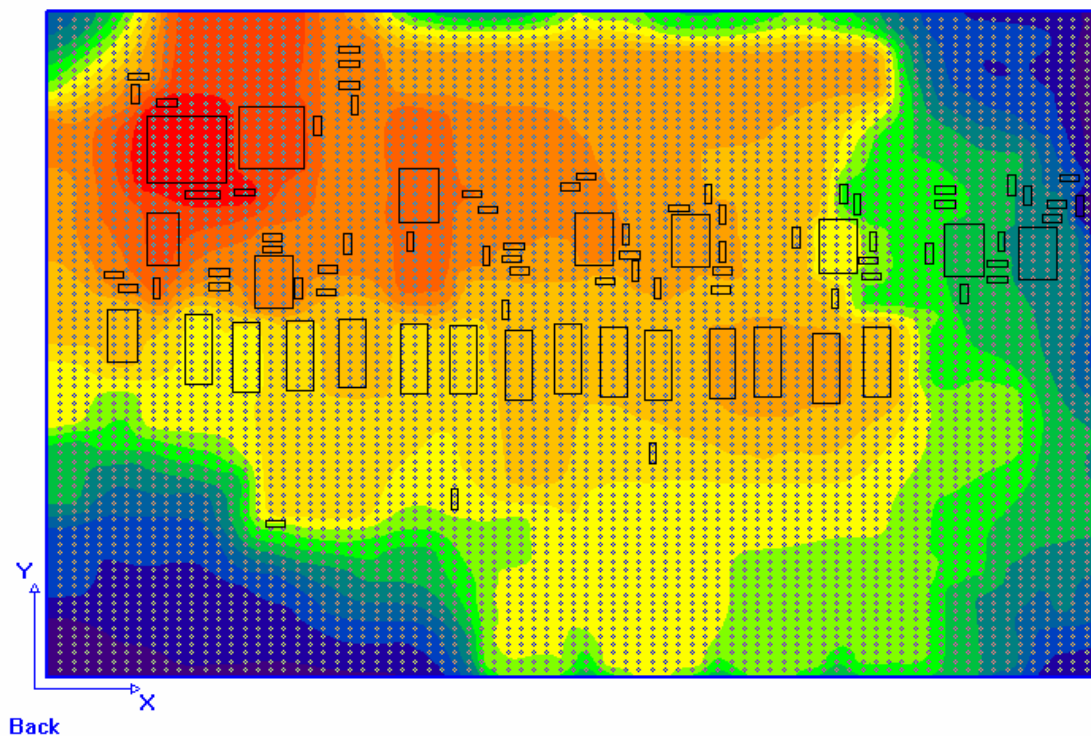


Рис. 4. Расчет температуры нагрева платы, вид снизу

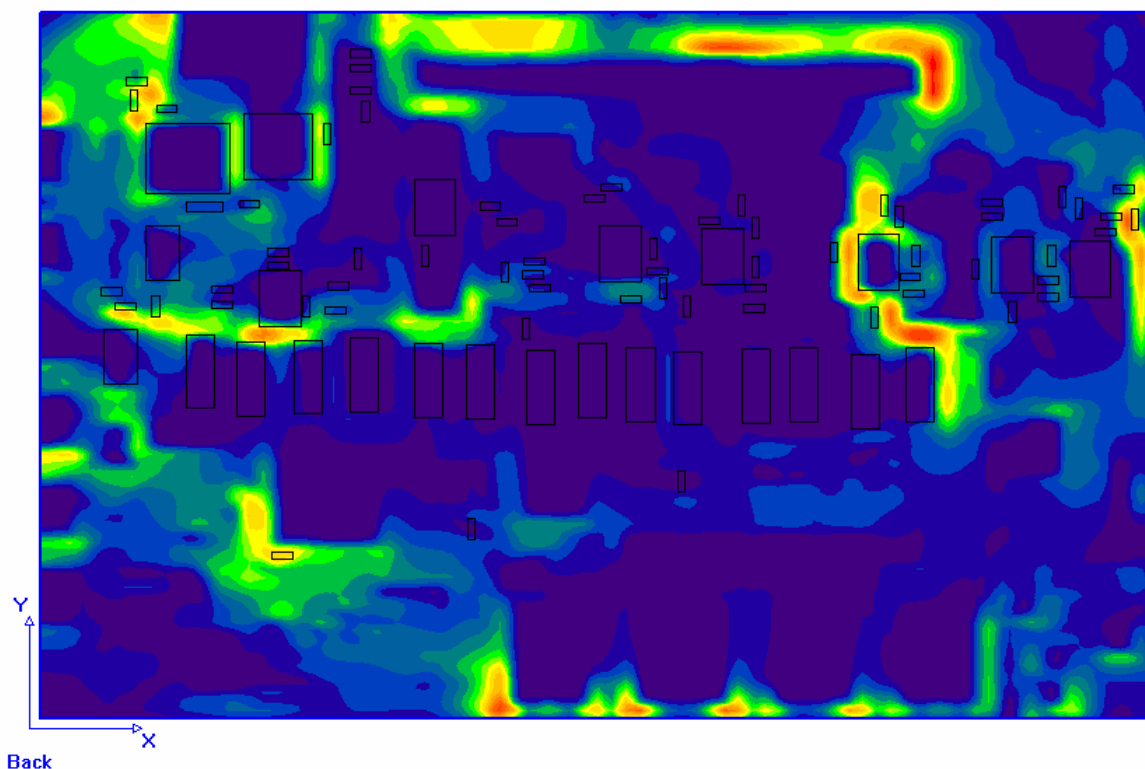


Рис. 5. Расчет градиента температур, вид снизу

Большой нагрев происходит в местах приема и передачи сигнала от внешних устройств и его преобразования. Для этих участков необходимо обеспечить дополнительное охлаждение.

Таким образом, при большой плотности монтажа и проводников данная конструкция установки испытаний позволяет избежать сильного перегрева компонентов, при обеспечении необходимого охлаждения.

Список литературы

[1] *Жуков В.К.* Метрология. Теория измерений : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры [Электронный ресурс] : Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 414 с. — Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/434013> (дата обращения: 30.08.2019)

[2] *Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А.* Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник — М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2004, 256 с.

[3] *Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A.* Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 41 (2012) 012017

Куропатова Любовь Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: simonolyuba@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович – профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

СЕКЦИЯ 4.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ РЕШЕТКИ НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА НА ДАВЛЕНИЕ, СОЗДАВАЕМОЕ ВИХРЕВЫМ НАСОСОМ

Вихревые насосы применимы в различных областях промышленности, чаще всего, их используют в системах, где необходимо создать большой напор при относительно малой подаче. Конструкции таких насосов отличаются большим разнообразием. Большинство вихревых насосов имеют крыльчатку открыто-вихревого либо закрыто-вихревого типа [1]. Наиболее простой конструкцией обладает гидромашина имеющая цилиндрический ротор с выполненными на его наружной поверхности глухими отверстиями, а на его периферии винтовой канал, неподвижно закрепленный в корпусе [3].

Для расчета размеров вихревого насоса с цилиндрическим ротором разработана методика на основании анализа рабочего процесса вихревой машины с учетом выбранной физической модели и экспериментальных результатов, позволяющая выбрать оптимальные геометрические параметры [2]. Используя данную методику была построена 3D модель ротора и четыре варианта статора с различным соотношением глубины направляющих каналов к диаметру отверстий в роторе. Ротор представляет собой цилиндр диаметром 189 мм и длиной 160 мм. Статор представляет собой неподвижную трубу, на внутренней поверхности которой выполнен винтовой канал. На поверхности ротора выполнены отверстия диаметром 18 мм и глубиной 14 мм. Скорость во входном сечении 3 м/с. Частота вращения ротора 3000 об/мин. На вход трубы подаётся вода, давление на входе – атмосферное. При глубине отверстий 14 мм были приняты следующие соотношения: $h/d=1,25$; $h/d=1$; $h/d=0,75$; $h/d=0,5$. Все варианты представлены на рис. 1.

После проведения моделирования были получены следующие результаты, что при соотношении $h/d=1,25$ давление на выходе из насоса лежит в диапазоне от 5,9 кПа до 91,7 кПа, при соотношении $h/d=1$ давление на выходе из насоса лежит в диапазоне от 102,1 кПа до 123,1 кПа, при соотношении $h/d=0,75$ давление на выходе из насоса лежит в диапазоне от 96,8 кПа до 116,2 кПа, при соотношении $h/d=0,5$ давление на выходе из насоса лежит в диапазоне от 84,1 до 112,1 кПа.

Таким образом, получены распределения давления при разном соотношении глубины отверстий к глубине направляющих каналов. Лучшим соотношением является $h/d=1$, при таком соотношении развивается самое большое давление на выходе из насоса, лежащее в диапазоне от 102,1 кПа до 123,1 кПа.

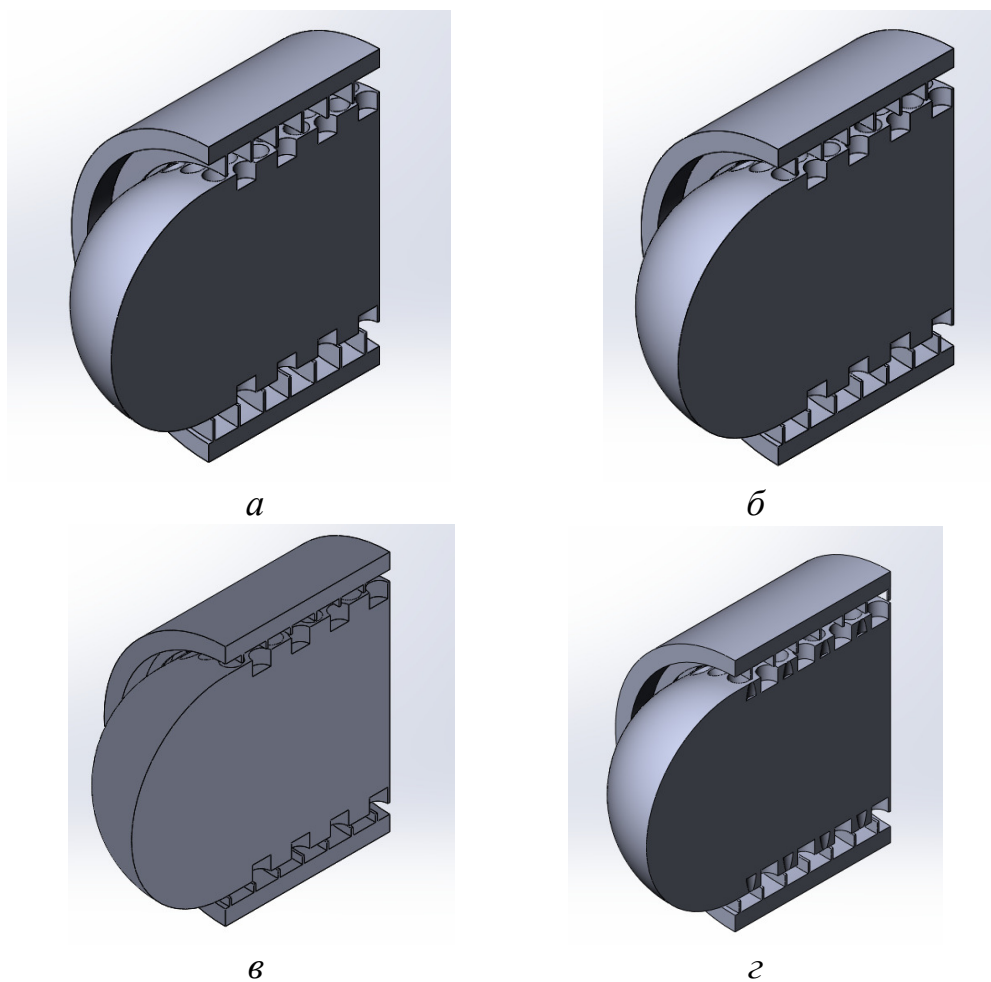


Рис.1. 3D модель проточной части насоса при различных отношениях глубины канала к диаметру отверстий:
 $a - 1,25$; $б - 1$; $в - 0,75$; $г - 0,5$

Список литературы

- [1]. Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины / О.В. Байбаков // М.: Машиностроение, 1981. – 197 с.
- [2]. Анкудинов А.А. Автоматизированное проектирование вихревой ступени насоса с цилиндрическим ротором и винтовым каналом/А.А Анкудинов, Е.В. Волчкова // Калуга: Манускрипт, 2019. 16 с.
- [3]. Насос: А.с.1724941 РФ / Лысенко Л.В., Анкудинов А.А., Зотов Б.Н. Заявл. 04.06.91; опубл. 15.01.94.

Ефремов Кирилл Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана.
 E-mail: kirik007750@gmail.com

Шитохина Ольга Григорьевна – канд. физ.- мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ВИХРЕВОГО НАСОСА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Вихревые насосы обычно применяют при необходимости создания большого напора при малой подаче. Их используют для водоснабжения сельских домов и для полива небольших садов и огородов. Благодаря простой конструкции рабочих органов таких насосов возможно применение химически стойких пластмасс, а также металлов, плохо поддающихся механической обработке и отливке, поэтому вихревые насосы применимы для перекачивания кислот, щелочей и других химически агрессивных реагентов [1]. Они пригодны для перекачивания легколетучих жидкостей (бензина, спирта, эфира и т. д.). Из достоинств вихревых насосов можно отметить отсутствие пульсаций давления на всех режимах, высокие кавитационные качества, малые габариты, а, следовательно, низкую стоимость [2].

Целью данной работы является сравнение двух конструкций насоса вихревого типа по перепаду давления.

На рис. 1 представлена конструкция вихревого насоса с цилиндрическим ротором с глухими отверстиями и неподвижным кольцевым каналом, ход нарезки которого совпадает с направлением вращения ротора [3]. Диаметр ротора равен 189 мм, а его длина 250 мм. Ширина кольцевого канала в сечении, перпендикулярном их средней линии, равна диаметру глухих отверстий ротора.

На рис. 2 изображена конструкция насоса-теплогенератора с плоским ротором с глухими отверстиями на торцах и неподвижным статором с глухими отверстиями [4]. Диаметр ротора равен рабочей длине цилиндрического ротора и составляет 250 мм, а его ширина 70 мм.

Диаметр глухих отверстий для двух конструкций насосов составляет 20 мм. Во входные патрубки насосов подается несжимаемая жидкость – вода, скорость на входе – 4 м/с. Частота вращения роторов составляет 1500 об/мин.

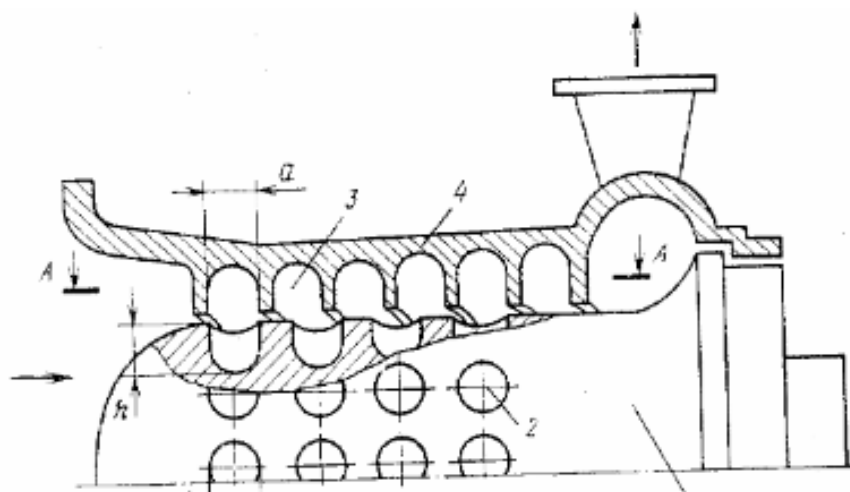


Рис. 1. Конструкция вихревого насоса с цилиндрическим ротором с глухими отверстиями и неподвижным кольцевым каналом

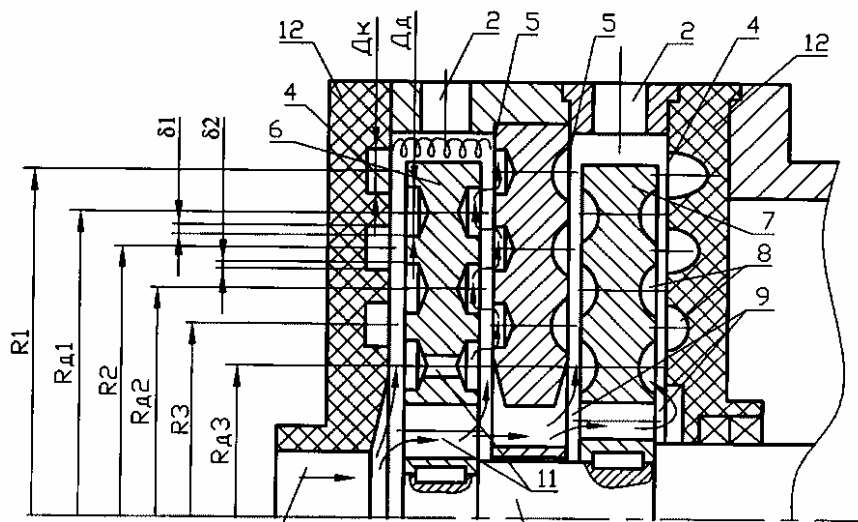


Рис. 2. Конструкция насоса-теплогенератора с плоским ротором с глухими отверстиями на торцах и неподвижным статором с глухими отверстиями

Результаты моделирования течения жидкости в проточной части насосов двух конструкций представлены на рис. 3.

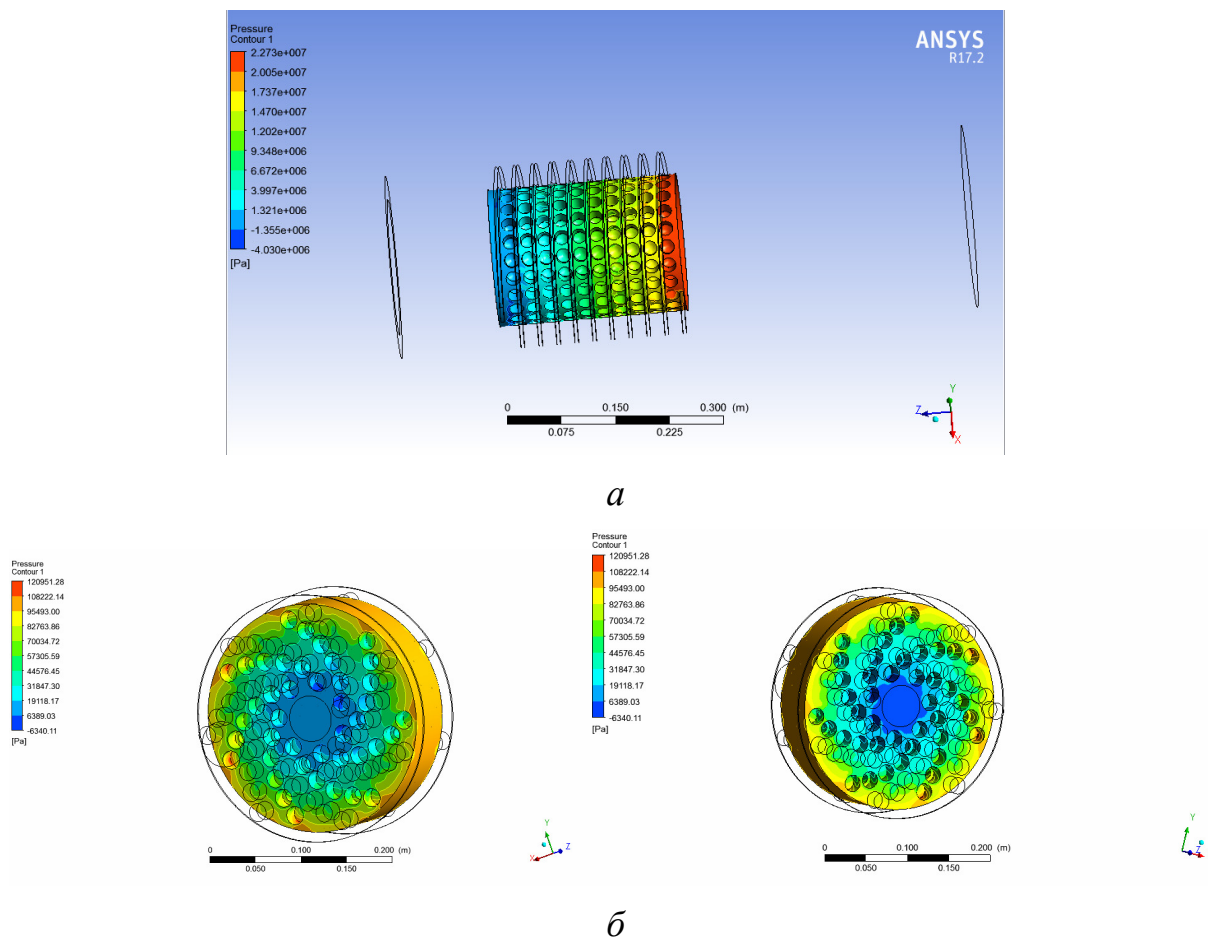


Рис. 3. Результаты моделирования: *а* - вихревого насоса с цилиндрическим ротором с глухими отверстиями и неподвижным кольцевым каналом; *б* - насоса-теплогенератора с плоским ротором с глухими отверстиями на торцах и неподвижным статором с глухими отверстиями

Из результатов моделирования следует, что в насосе с цилиндрическим ротором и неподвижным кольцевым каналом (рис. 3 а) возникает перепад давления, а в насосе с плоским ротором с глухими отверстиями на торцах и неподвижным статором с глухими отверстиями (рис. 3 б) возникает ничтожно малый перепад, такая конструкция не позволяет создавать поток жидкости с достаточным напором.

Список литературы

[1] *Байбаков О.В.* Вихревые гидравлические машины. — М.: Машиностроение, 1981. —197 с.

[2] *Каримулина Е.В.* Применение вихревого течения в технике/ Е.В. Каримулина, О.Г. Шитохина // Электронный журнал: наука, техника и образование, 2019. № 1(19). с. 200–201.

[3] *Насос:* А.с. 1724941 РФ / Лысенко Л.В., Анкудинов А.А., Зотов Б.Н. Заявл. 04.06.91; опубл. 15.01.1994.

[4] *Насос-теплогенератор:* А.с. 2319911 РФ / Бритвин Л.Н. Заявл. 25.08.2006; опубл. 20.03.2008.

Каримулина Елена Владиславовна – КФ МГТУ им. Баумана, ПАО «КАДВИ». E-mail: lena.sirkina98@gmail.com

Шитохина Ольга Григорьевна – КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

Научный руководитель: Шитохина Ольга Григорьевна. КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШНЕКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Одним из эффективных способов повышения кавитационных качеств центробежных насосов является установка перед центробежным колесом первой ступени насоса специального осевого колеса, которое повышает энергию жидкости на входе в центробежное колесо и отодвигает кавитационный срыв напора центробежной ступени. Наибольшее распространение получила конструкция предвключенного осевого колеса с лопастями, имеющими винтообразную поверхность. Такие осевые колеса называются шнеками, а центробежные колеса с предвключенными шнеками называют шнекоцентробежными ступенями. Они имеют кавитационный коэффициент быстроходности для режима, предшествующего срыву напора насоса, $C_k = 2000 \dots 5000$ [1].

При понижении расхода, т. е. при уменьшении комплекса, характеризующего кинематическое подобие режима насоса Q/ω , появляются обратные токи на входе. Часто обратные токи наблюдаются и на расчетном режиме. Обратные токи, возникая на входе в лопасти колеса и распространяясь во входном патрубке навстречу основному потоку, оттесняют основной поток к оси входного патрубка и закручивают его. Чем больше отличается величина Q/ω от $(Q/\omega)_p$ для режима без обратных токов, тем больше интенсивность обратных токов и их воздействие на основной поток [3].

Последствиями воздействия обратных токов являются:

1. Неравномерность поля давления на входе в шнек, проявляющаяся в понижении в центре активного потока и в повышении на периферии статического давления вследствие закрутки потока.
2. Подогрев перекачиваемой жидкости за счет обратных токов.
3. Возможность возникновения автоколебательных режимов.
4. Увеличение момента сопротивления на валу насоса.
5. Образование на пониженных расходах вихревого шнура во входном патрубке, заполненного газом и паром [2].

С целью повышения эффективности центробежного насоса в межлопастном канале на поверхности втулки шнека выполняется канавка (рис. 1) уменьшающая негативное влияние обратных токов на работу насоса.

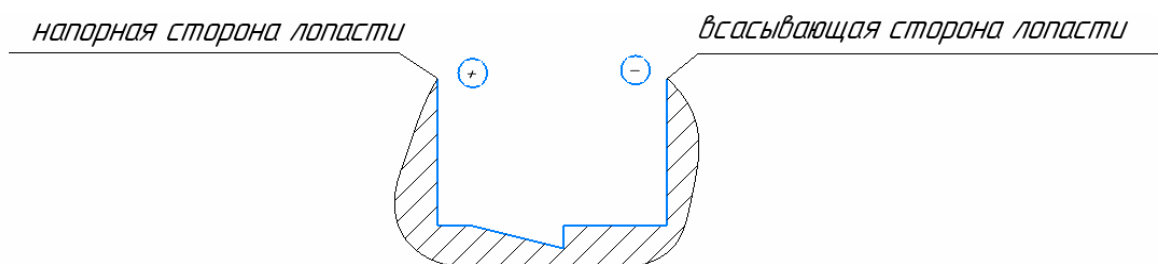


Рис. 1. Канавка на втулке шнека

Компьютерный расчет распределения потоков жидкости и образования обратных токов в шнеке выполнялся в программном комплексе Ansys CFX.

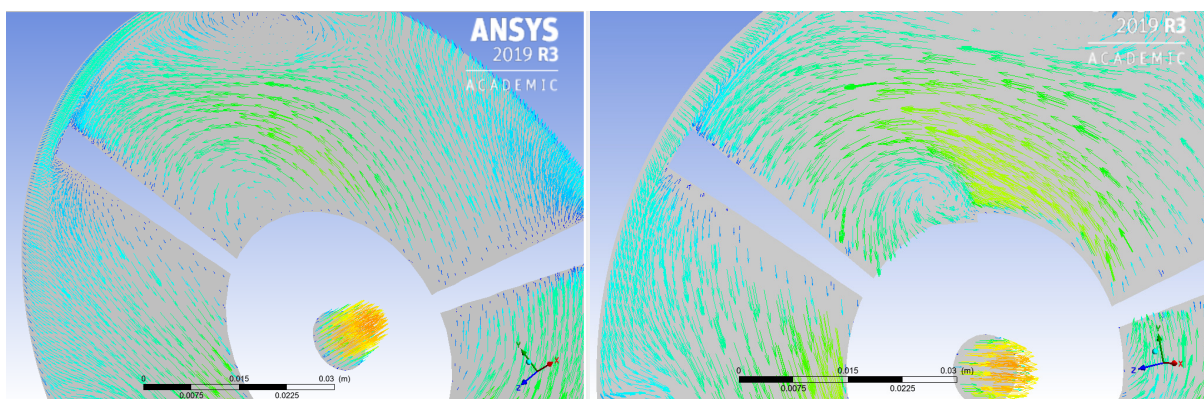


Рис. 2. Картина течения в исходном и модернизированном шнеке

Сравнение течений жидкости с обратными токами, возникающими в межвинтовой области, показано на рисунке 2, на котором видно, что в модернизированном шнеке отрыв потока фиксируется межвинтовой канавкой.

Фиксация зоны отрыва потока жидкости, перетекающего с напорной стороны лопаток шнека к всасывающей, позволит снизить величину нестационарных динамических усилий на стенки межлопастного канала и улучшить вибрационные характеристики насоса.

Кроме того, такая канавка позволит уменьшить интенсивность вихревого течения, получить более равномерное поле скоростей в межвинтовой области и снизить скорость основного потока.

Расчет показал, что выбранный способ модернизации позволит повысить КПД шнека на 1,3 %.

Выводы.

1. Перечислены последствия негативного влияния обратных токов.
2. Исследован способ уменьшения негативного влияния обратных токов на работу насоса.
3. Выбранный способ модернизации позволит повысить КПД шнека на 1,3 %.

Список литературы

[1]. *Зотов Б.Н.* Расчёт характеристик шнеков постоянного и переменного шага для центробежных насосов. – М.: Машиностроение, 2014. – 65 с.

[2]. *Коротков В.В., Минеев В.А.* ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2019. №3 (26). С. 19-24. URL:

<http://ntojournal.ru/uploads/articles/3cebb8ba8e9a11bcc1fa31a8221881bf.pdf> (дата обращения 18.03.2020)

[3]. *Руднев С.С., Мелащенко В.И.* Обратные течения на входе в рабочее колесо и их влияние на форму характеристики центробежных секционных насосов. Труды ВНИИГидромаш. – М., 1968. – № 37. – С. 167–183

Минеев Виктор Александрович – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: NewNeskwik@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашины», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Энергетические потери в проточной части центробежного насоса приводят к снижению его производительности. Поэтому рассмотрение путей по уменьшению потерь энергии позволит увеличить экономичность и КПД данных машин.

Гидравлические потери. Основное влияние на КПД оказывают гидравлические потери, для избежания которых необходимо повышать эффективность насоса совершенствованием его конструкций.

Гидравлические потери складываются из потерь на трение жидкости, протекающей во всасывающем трубопроводе, рабочем колесе, спиральной камере и трубном расширении (диффузоре). Эти потери выражаются гидравлическим КПД η_e . Трудность анализа и определение гидравлических потерь сопряжена со сложностью происходящих в насосе процессов.

Одним из перспективных подходов к модернизации насосов является гидрофобизация поверхностей проточной части насоса, позволяющая имитировать так называемый “эффект лотоса” [1, 2].

Гидрофобизация поверхностей рабочих колес. Изменение свойств поверхности проточной части насоса с помощью гидрофобных покрытий обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик насосного агрегата [1, 2, 4]. Однако, создание гидрофобных пленок на поверхностях, имеющих пространственную геометрию, представляет сложную задачу.

Реализация такого метода возможна на основе использования тефлонов. Тефлонирование поверхностей эффективно осуществляется на основе использования фторопласта-4.

Экспериментальные исследования по использованию фторопластовых покрытий для создания гидрофобных поверхностей в РК центробежных насосов осуществлялись на энерго-кавитационном стенде МЭИ на примере исследований насоса КМ 65-50-160а (имеющий $n_s = 88$) [3].

Результаты испытаний демонстрируют:

- повышение напорной характеристики насоса после создания гидрофобного покрытия, что объясняется снижением потерь гидравлического трения, приводящих к увеличению напора;
- снижение потребляемой мощности приблизительно на 90 Вт, в основном в рабочей зоне, что объясняется уменьшением потребной мощности на компенсацию гидравлических потерь (потери на трение и вихреобразование);
- повышение КПД насоса на 1,5-2% в рабочей зоне.

Согласно результатам экспериментальных исследований насосов [4], характеризующихся диапазоном значений n_s от 33 до 330, после гидрофобизации поверхностей рабочих колес “эффект лотоса” обеспечил повышение

КПД всех насосов во всем допустимом рабочем диапазоне (рис. 1). Объясняется это тем, что снижаются гидравлические потери на трение (прежде всего в межлопастных каналах), т.е. уменьшением коэффициента гидравлического сопротивления ξ в формуле Дарси–Вейсбаха.

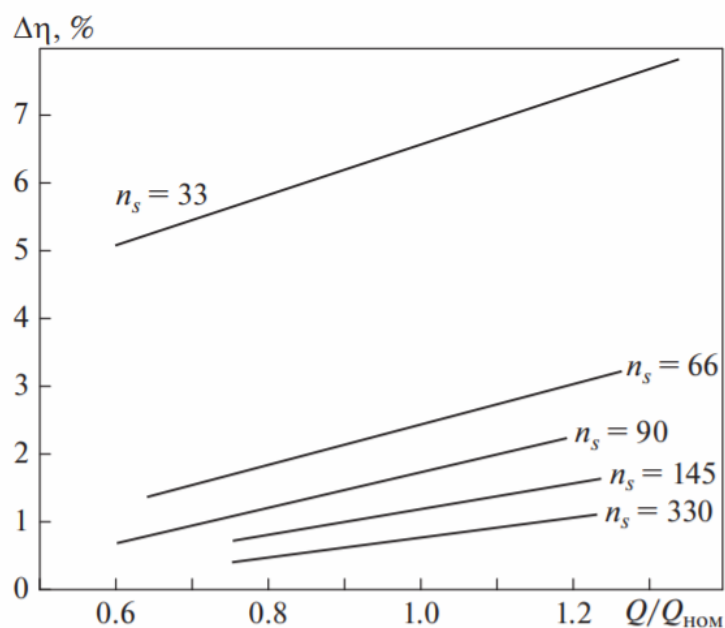


Рис. 1. Средние значения приращения КПД насосов, полученные по результатам экспериментов

Выявлена интересная закономерность, характерная для всех насосов исследованной группы (см. рис. 1) – повышение КПД с ростом подачи насоса. Уменьшение коэффициента ξ как следствие гидрофобизации объясняет также и эту закономерность, так как согласно Дарси и Вейсбаху потери давления пропорциональны квадрату скорости потока. Другими словами, из-за роста скорости потока гидрофобизация поверхностей межлопастных каналов рабочих колес снижает потери давления.

Вывод. Модернизация центробежного насоса на основе создания гидрофобного покрытия на поверхностях РК приводит к повышению энергоэффективности при обеспечении сохранения работоспособности насоса. Такое покрытие одновременно защищает поверхность РК от коррозии и от образования отложений, что обеспечивается отсутствием контакта перекачиваемой среды и металла, из которого изготовлена проточная часть.

Список литературы

[1]. *Design of ice-free nanostructured surfaces based on repulsion of impacting water droplets* / L. Mishchenko, B. Hatton, V. Bahadur, J.A. Taylor, T. Krupenkin, J. Aizenberg // *Nanoletters*. 2010. V. 4. № 12. P. 7699–7707.

[2]. *Effects of the surface roughness on sliding angles of water droplets on superhydrophobic surfaces* / M. Miwa, A. Nakajima, A. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe // *Langmuir*. 2000. V. 16. № 13. P. 5754–5760.

[3]. *Носов Э.Ф., Маркевич А.М., Клейменов Н.А.* Энциклопедия полимеров. - М.: Советская энциклопедия, 1977. - Т. 3. - 1152 с.

[4]. *Волков А.В., Парыгин А.Г.* Влияние гидрофобизации рабочих колес центробежных насосов на их эксплуатационные характеристики, 2016. – 7 с.

Малахов Владислав Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: vlad.merlin@mail.ru

Коротков Виталий Владимирович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

К РАСЧЕТУ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ

Одним из путей снижения габаритов и металлоемкости пластинчатого насоса может быть установка подшипника скольжения вместо подшипника качения. Рассмотрим методику расчета подшипника скольжения применительно к пластинчатому насосу.

Работа насоса связана с вращательным движением и поступательно – вращательным движением. Естественно, для обеспечения этого движения используются подшипники, которые, в основном, для каждого вида насоса подбираются свои. Подшипник является опорой для вала, который в насосе вращается с большой скоростью. Подшипники должны быть надежными и иметь длительный срок службы.

Очевидно, что в нашем случае будет иметь место жидкостное трение в подшипнике. Исходя из этого, порядок расчета порядка расчета будет выглядеть следующим образом.

В работе [1] приводятся методика расчета подшипника на базе определения такого параметра как удельное давление на подшипник.

Максимальное удельное давление k_{\max} представляет собой отношение максимальной реакции опоры к площади проекции рабочей поверхности подшипника:

$$k_{\max} = \frac{R}{l_{\text{ц}} D_{\text{ц}}} \text{ кг/см}^2 \quad (1)$$

где R , - максимальная реакция опоры; $D_{\text{ц}}, l_{\text{ц}}$ диаметр и длина цапфы в см.

Данное выражение не в полной мере учитывает основные процессы, которые происходят в паре вал-подшипник насоса, такие как возникновение эксцентриситета, т. е. смещение оси подшипника относительно оси вала, а так же класс частоты вала и подшипника.

Более корректно в данном случае использование гидродинамической теории смазки, основанной профессором Н.П. Петровым.

Уравнения гидродинамики вязкой жидкости упрощены на основании ряда допущений, из которых основными являются: несжимаемость жидкости, силы инерции частиц жидкости малы по сравнению с силами вязкости, толщина слоя мала по сравнению с радиусом кривизны поверхности скольжения и тд.

Распределение давлений в слое определяется уравнением Рейнольдса:

$$\frac{d}{dx} \left(h^3 \frac{dp}{dx} \right) + \frac{d}{dz} \left(h^3 \frac{dp}{dz} \right) = 6\mu \left[(U_0 + 2U_1) \frac{dh}{dx} + 2V \right] \quad (2)$$

где h - толщина слоя смазки, представляющая собой непрерывную функцию от X до Z , U_0 и U_1 – скорость скольжения вала и подшипника, V - скорость

сближения поверхностей скольжения, μ - абсолютная вязкость.

В нашем случае $U_1 = 0$, $V = 0$, нагрузка мало изменяется по величине и направлению.

Толщина слоя смазки будет равна

$$h = \delta - e \cos f,$$

где δ - радиальный зазор в подшипника; e - эксцентриситет (рис.1).

Так как

$$dx = R_{\text{ц}} \times df, \quad \frac{dh}{dx} = \frac{1}{R_{\text{ц}}} e \times \sin f, \quad U_0 = \frac{dh}{dx} = R_{\text{ц}} \times \omega \frac{1}{R_{\text{ц}}} \times e \times \sin f = e \times \omega \times \sin f,$$

то для этого случая уравнение Рейнольдса примет вид

$$\frac{d^2 p}{df^2} + \frac{3 \times e \times \sin f}{\delta - e \times \cos f} \times \frac{dp}{df} + R_{\text{ц}}^2 \frac{d^2 p}{dz^2} = -6 \times \frac{\mu \times \omega \times e \times R_{\text{ц}}^2 \times \sin f}{(\delta - e \times \cos f)^3}, \quad (3)$$

где f - угол поворота вала; e - абсолютный эксцентриситет; δ - радиальный зазор; $R_{\text{ц}}$ - радиус цапфы вала.

Решение уравнения, рассматриваемого при граничных условиях, $p=0$ для $\varphi=0$; $\varphi=\pi$; $z=0$ дает значения давлений p в слое смазки.

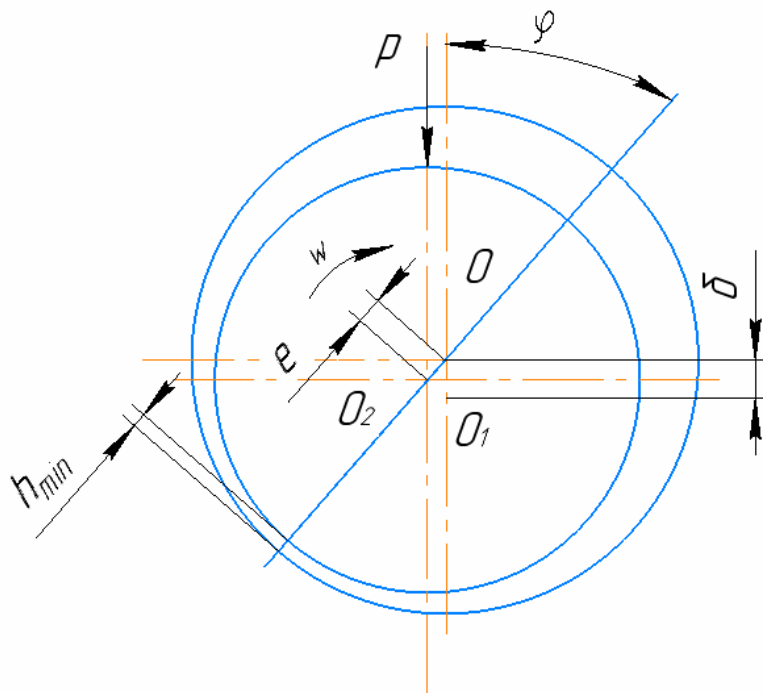


Рис. 1. Положение шипа в подшипнике при жидкостном трении

Приравняв давление в слое нагрузке P , находим зависимость относительного эксцентриситета $\gamma = \frac{e}{\delta}$, а следовательно и минимальной толщины

слоя $h_{\min} = \delta(1 - \gamma)$ от безразмерной нагрузки $\frac{\psi^2 k_{\text{ср}}}{\mu \omega}$, которую иногда называют

коэффициентом нагруженности подшипника, где ψ - относительный зазор (Отношение радиального зазора к внутреннему радиусу или диаметрального

зазора к внутреннему диаметру подшипника.)

$$\psi = 0,293 \times K_{\phi l} \times \sqrt{\mu} \times \frac{n}{p} \quad (4)$$

μ - динамическая вязкость масла; n - число оборотов вала; p - среднее удельное давление на опору; $K_{\phi l}$ -коэффициент.

Задаваясь отношением D_u, l_u и найдя из расчета указанную безразмерную нагрузку, можно из таблицы значений безразмерной нагрузки определить относительный эксцентриситет χ [1 – 157 с.], а минимальную толщину слоя определить из равенства:

$$h_{\min} = \delta(1-\chi) \quad (5)$$

Исходя из анализа таблицы и расчетов можно понять, что увеличение нагрузки, а следовательно и удельного давления, уменьшение вязкости смазывающей жидкости и уменьшение числа оборотов влекут за собой уменьшение h_{\min} , то есть уменьшение надежности подшипника.

Список литературы

- [1] Юдин Е.М. Шестеренные насосы. - М.: Машиностроение, 1964. – 157 с.
- [2]. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
- [3]. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с. <http://www.hydro-pneumo.ru/topic.php?ID=27>
- [4]. Гринчар Н.Г. Основы гидропривода машин: учеб. пособие. Часть 1 / Н.Г. Гринчар, Н.А. Зайцева. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 444 с. <http://web-mechanic.ru/gidravlika-i-pnevmatika/gidravlicheskie-nasosy/plastinchatye-nasosy.html>
- [5]. Зайченко И.З. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. - М.: Машиностроение, 1970 . – 229 с.
- [6]. Башта Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 628 с.

Филимонов Алексей Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: Aleksey-filimonov@yandex.by

Савин Владимир Юрьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: savin.study@yandex.ru

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ПОДБИВОЧНЫХ БЛОКОВ ПУТЕВЫХ МАШИН

Все путевые машины содержат в себе гидравлические системы, которые надо обслуживать. Для экономии времени и средств используют стенды, на которых можно изобразить реальные условия работ машины для выявления недостатков после проведенного ремонта над деталями и узлами. [1]

Целью испытаний стенда является проверка сборки или ремонта подбивочного блока, контроль соответствия его параметров требованиям комплекта технической документации для определения возможности приемки подбивочного блока и сдачи его представителю Заказчика и инспектору ЦТА ОАО «РЖД». Объектом испытаний является каждый подбивочный блок.



Рис 1. Стенд для испытаний подбивочных блоков

Испытания проводятся на стенде компании “АВА Гидроком” (Рис. 1) предназначенного для проверки качества изготовления, сборки и ремонта, а также обеспечения первоначальной приработки элементов подбивочного блока машин, который контролирует следующие параметры:

- давление сжима разжима подбоек (3,5 ... 12 МПа);
- частота вращения вибровала (0 ... 2100 об/мин);
- температура масла в расходном баке стенда - до 100С°;
- температура подшипников вибровала - до 115 С°;
- температура осей шарнирных соединений рычагов и гидроцилиндров;
- герметичность уплотнений и штуцерных соединений;
- герметичность системы смазки и центральных шарниров;
- качество перемещение штоков гидроцилиндров;
- отсутствие посторонних шумов при работе блока.

Так же данный стенд имеет следующие параметры:

- рабочее давление до 13 МПа;
- номинальный расход 118 л/мин;
- объем бака 1300 л;
- вес гидроагрегата 1850 кг [2].

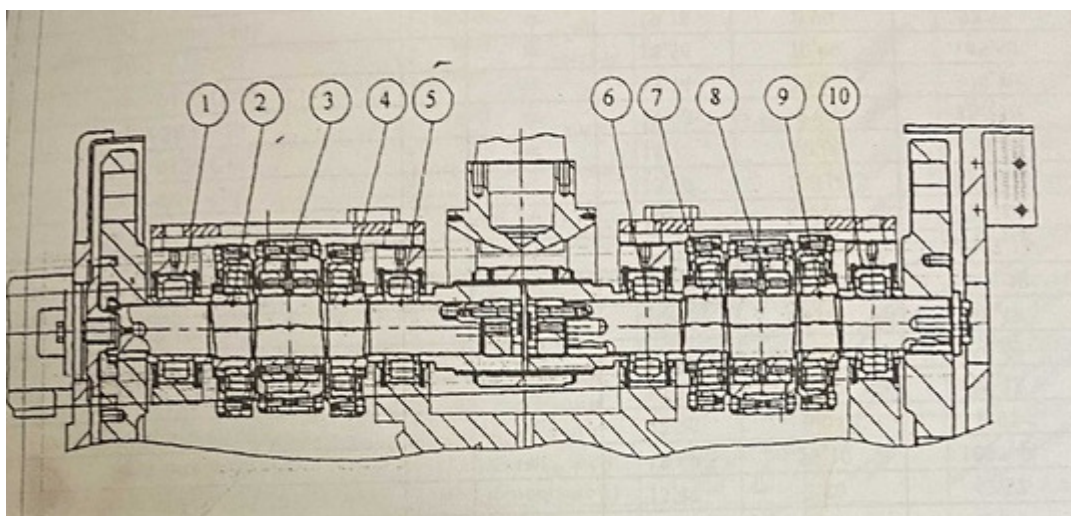


Рис 2. Точки контроля температуры

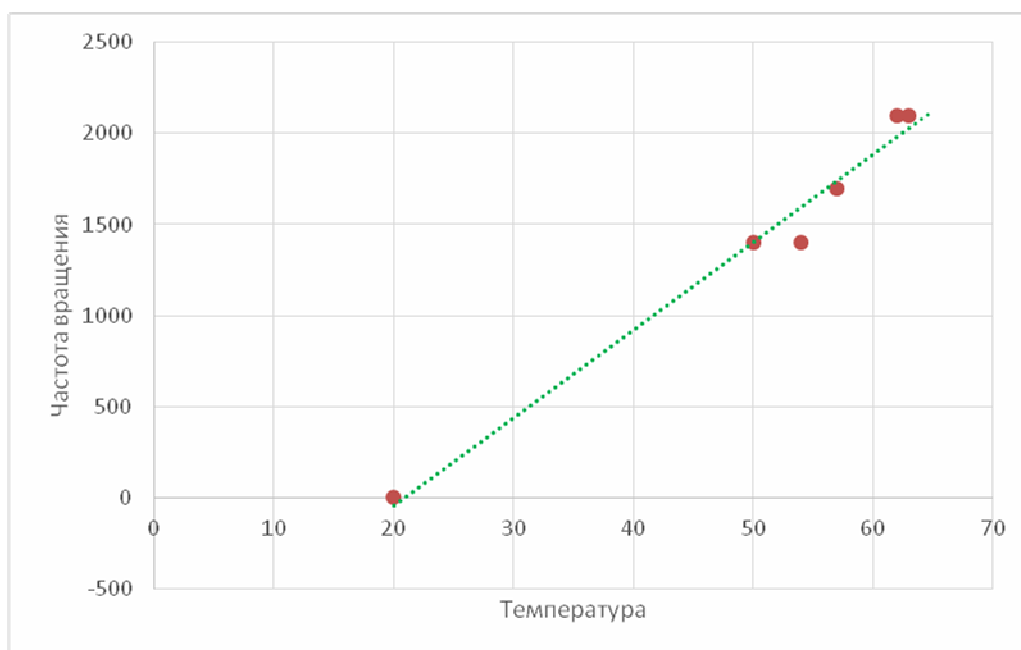


Рис 3. 1 точка контроля температуры

- - - - - линейная зависимость возрастания температуры в точках контроля относительно оборотов в эталонных образцах подбивочных блоков
- – температура в контролируемой точке

В ходе испытаний были сняты замеры t , °С у десяти точек (рис. 2) при нескольких режимах работы. Объем полученных результатов подвергается статистической обработке при помощи критерия Колмогорова. Для получения точных результатов достаточно показаний снятых при 5 режимах

работы.

В качестве примера приводятся измерения первой точки (рис. 3). По граффику видно, что показания снятые с подбивочного блока после ремонта близки к показаниям эталонного образца это позволит нам сделать вывод, что данный образец можно признать годным к эксплуатации.

Результаты испытаний, все неисправности и отказы, а также отметки об их устранении заносятся в рабочий журнал испытаний подбивочного блока соответствующей машины. Значения температуры нагрева мест под подшипники на каждом режиме в точках контроля также заносятся в журнал испытаний подбивочного блока.

Таким образом, методика стендовых испытаний подбивочных блоков основана на одновременном выполнении нескольких операций: осуществление сжима и разжима подбоек, создание постоянной вибрации, а также задание и контроль параметров работы системы (давление, усилие, время, скорость и т.д.), однако контроль температуры мест под подшипники является основным. Данный способ позволяет максимально точно имитировать рабочий процесс ПРМ, который сопровождается вибрациями от других агрегатов установки и усилием со стороны подбиваемого щебня. Результатом является объективная оценка работоспособности и ресурса испытываемых изделий и, как следствие, выпуск эффективных и надежных машин. [3]

Список литературы

[1] *Прогнозы*, статистика в области промышленных стендов. (б.д.). Получено из Trends: <http://robotrends.ru/robopedia/novosti-prognozy-statistika-v-oblasti-promyshlennyh-stendov>

[2] *Вальяников В.Д., Чубаров Ф.Л., Никитин А.В.* Научное оборудование в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы всероссийской НТК 14-16 ноября 2017 г. Т2., с. 139-142. Сб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 78с

[3] *Чубаров Ф.Л., Шинкевич Н.Н., Никитин А.В.* Методика стендовых испытаний подбивочных блоков путевых машин. Сборник научных статей по итогам третьей международной научной конференции. 30 апреля 2019 г. Часть.1, с 253-257. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38095798>

Шинкевич Николай Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-next@mail.ru

Чубаров Федор Леонидович – заведующий кафедрой МСХА им. Тимирязева, канд. техн. наук. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

НАПОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОГО КОМПРЕССОРА С КОНИЧЕСКИМ РОТОРОМ

В технике широко применяются насосы, в которых перемещение рабочей жидкости осуществляется в результате преобразования подводимой энергии в потоке. Например, в насосах трения подвижный элемент конструкции перемещает жидкость под действием сил вязкости, и механическая энергия жидкости увеличивается за счет подводимой к устройству энергии. [1]. Дисковый насос трения состоит из размещенного в корпусе 1 колеса 2, состоящего из нескольких тонких скрепленных между собой по периферии дисков, между которыми имеются зазоры для прохода жидкости, и отводящего устройства 3 (рисунок 1). При вращении колеса жидкость, находившаяся в зазоре между дисками, закручивается ими за счет трения, и энергия от рабочего колеса передается перекачиваемой жидкости. В последующих элементах – спиральном канале и коническом диффузоре — кинетическая энергия преобразуется в значительной части в энергию давления.

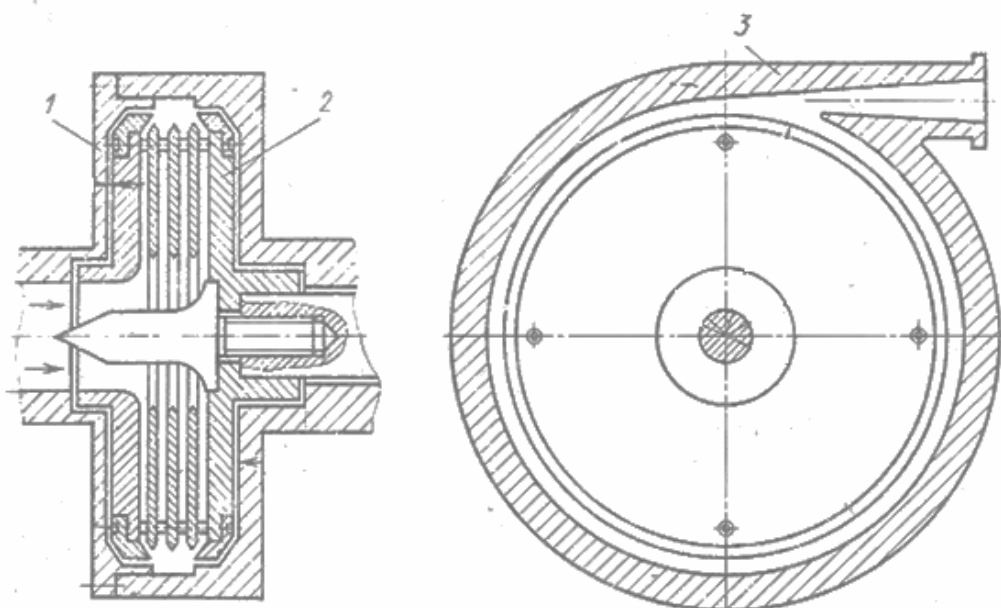


Рис. 1. Устройство дискового насоса трения:
1 - корпус; 2 - колесо; 3 - отводящее устройство

Конструктивная особенность дискового насоса трения определяется устройством рабочего колеса, которое выполняется в виде пакета гладких дисков с небольшими зазорами между ними. Каждая пара дисков образует рабочий элемент насоса — плоскую кольцевую щель. При вращении дисков жидкости за счет сил трения передается энергия — насос создает напор.

Представляет большой интерес вихревая машина, имеющая ротор в виде конического барабана и размещенной на его периферии неподвижной винтовой решетки [2]. При вращении ротора под действием центробежных сил и

воздействия винтовой решетки на поток в глухих отверстиях ротора, расположенных на всей его поверхности, возникают вихри. Вихри распространяются в каналы решетки и перемещают находящуюся там среду от входа к выходу. Основной поток перемещается по неподвижным винтовым каналам. Вихревую гидромашину имеющую ротор в виде конического барабана можно использовать и в качестве компрессора [3, 4]. На рисунках 2 и 3 представлен ротор и неподвижная решетка вихревой машины. Экспериментально подтверждено, что область всасывания может находиться и на большем диаметре ротора, и на его меньшем диаметре.

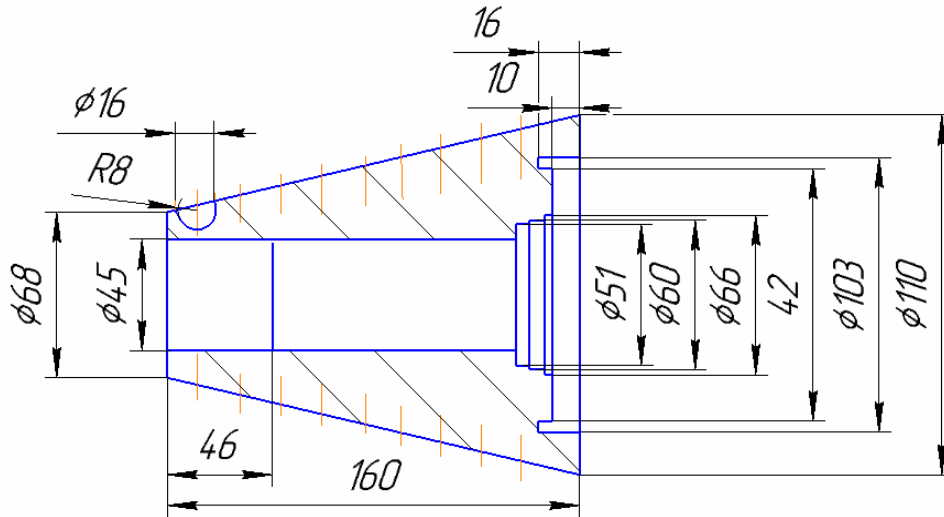


Рис. 2. Схема ротора компрессора

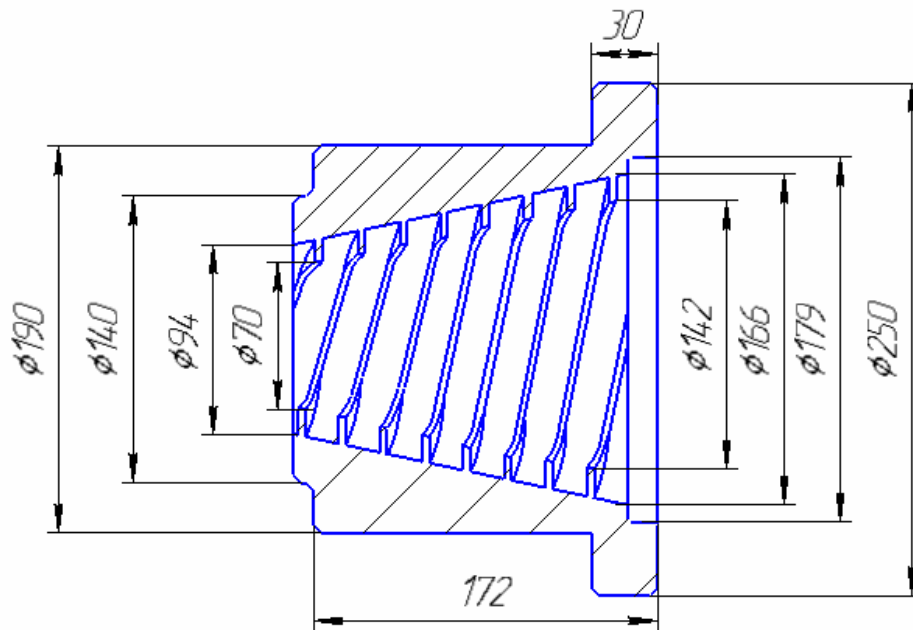


Рис. 3. Схема неподвижной винтовой решетки компрессора

На рис. 4 приведены напорные характеристики вихревой машины (компрессора), где в качестве рабочей среды применялся воздух. Давление воздуха (рисунок 4), приводится в метрах столба жидкости (воды). Расход воздуха приведен в пересчете для атмосферного давления. Опытная установка позво-

ляла определять экспериментальные напорные характеристики при постоянной частоте вращения.

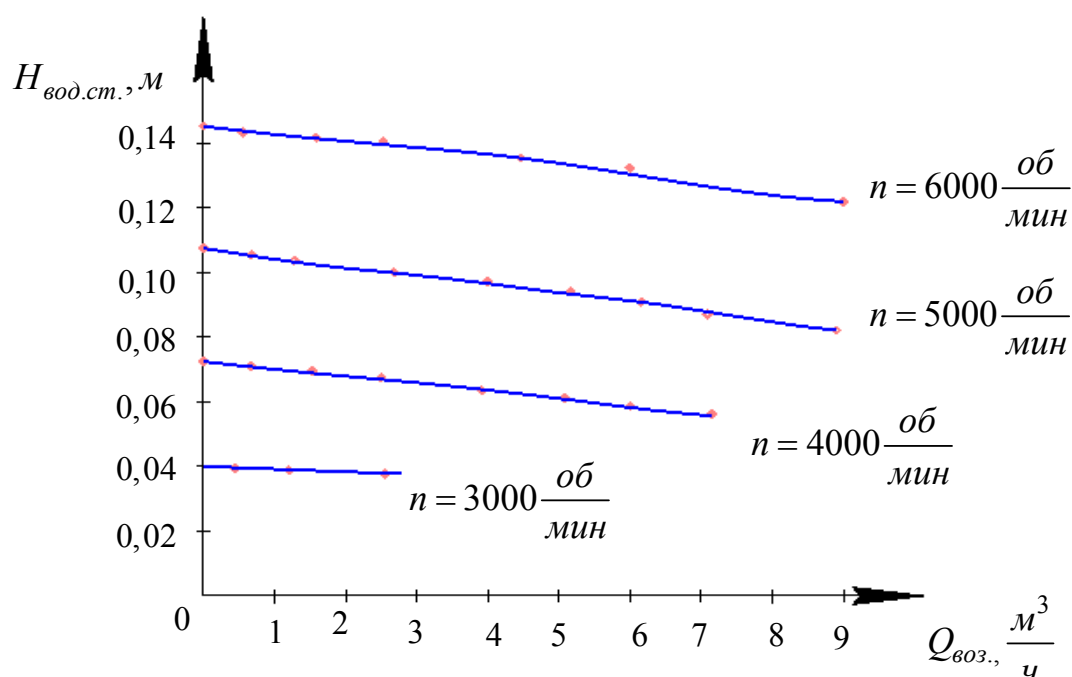


Рис. 4. Напорные характеристики вихревой машины

Работа компрессора устойчива во всем диапазоне изменения подачи.

Выводы

1. Работа компрессора устойчива во всем диапазоне подачи.
2. Полученные экспериментальные данные открывают перспективу использования разработанного устройства не только в качестве насоса, но и компрессора.
3. Ротор представляет собой барабан с большим запасом прочности, поэтому при проектировании можно создавать высокооборотные компрессоры и насосы с малыми габаритами.
4. На базе представленной вихревой машины возможно создание нагнетателей для химической, нефтеперерабатывающей, и газовой промышленности, авиации и судостроения.

Список литературы

- [1]. Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины. М.: Машиностроение, 1981.-197с.
- [2]. Патент РФ № 4657277/29, 07.04.1992
- [3]. Патент РФ № 4953086/29, 15.01.1994
- [4]. Анкудинов А.А., Лысенко Л.В. Разработка и исследование вихревой гидромашин/ В сб.: Международная конференция <Гидромеханика, гидромашин, гидроприводы и гидропневмоавтоматика>-М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 1994, стр.39

Цыганов Никита Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: kf.tsyanoff@yandex.ru

Анкудинов Анатолий Александрович – E-mail: ankudinov2808@yandex.ru

ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ ПОТОКА В ОСЕВОЙ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Введение. При работе осевой ступени насоса на подаче меньше 50% от оптимальной, во входной части осевого колеса, образуются вихри (вихревые течения) жидкости, усиливающиеся с уменьшением подачи. Вихри приводят к повышенной вибрации, неустойчивой работе, генерации низкочастотных пульсаций давления, имеющие характер автоколебаний. Возникшие автоколебания достигают большой амплитуды и могут привести к выходу насоса из строя [1].

Выделяют две крупные группы источников вибрации:

- гидродинамические,
- механические.

Особый интерес представляет для нас источник гидродинамической вибрации – возникновение обратных токов, вихреобразование и неравномерное обтекание элементов проточной части.

В процессе проектирования и эксплуатации насосов часто фиксировалось возникновение в их проточной части сложных вихревых течений. Природа таких течений, как и причины, их возникновения, могут быть разными.

Основываясь на анализе литературы можно выделить следующие причины возникновения вихревых течений:

- Отрывы потока жидкости при обтекании элементов проточной части насоса;
- Перетекание жидкости через зазоры из зоны высокого давления в зону низкого давления;
- Взаимодействие ротора насоса с его статором;
- Закрутка потока на входе в рабочее колесо насоса;
- Работа насосов на режимах сильно отличающихся от номинального.

Существующие методики борьбы со сложными вихревыми структурами течения чаще всего состоят из нескольких этапов:

- Проведение натурного или численного эксперимента;
- Определение источников вихревых течений в жидкости;
- Проработка изменений в конструкции исследуемого насоса
- Проведение дополнительных экспериментальных исследований

Такой подход позволяет выработать рекомендации по выравниванию потока жидкости в проточной части насоса, а именно, предотвращению возникновения в нем вихревых структур и неоднородностей полей скоростей и давлений. [3].

В работе [6] с помощью гибких нитей исследовалось относительное движение жидкости непосредственно перед шнековым преднасосом и в са-

мом шнеке. На основании анализа расположения гибких нитей во входной области шнека была построена картина течения жидкости в шнековом преднасосе при наличии на входе обратных токов, представленная на рис. 1.

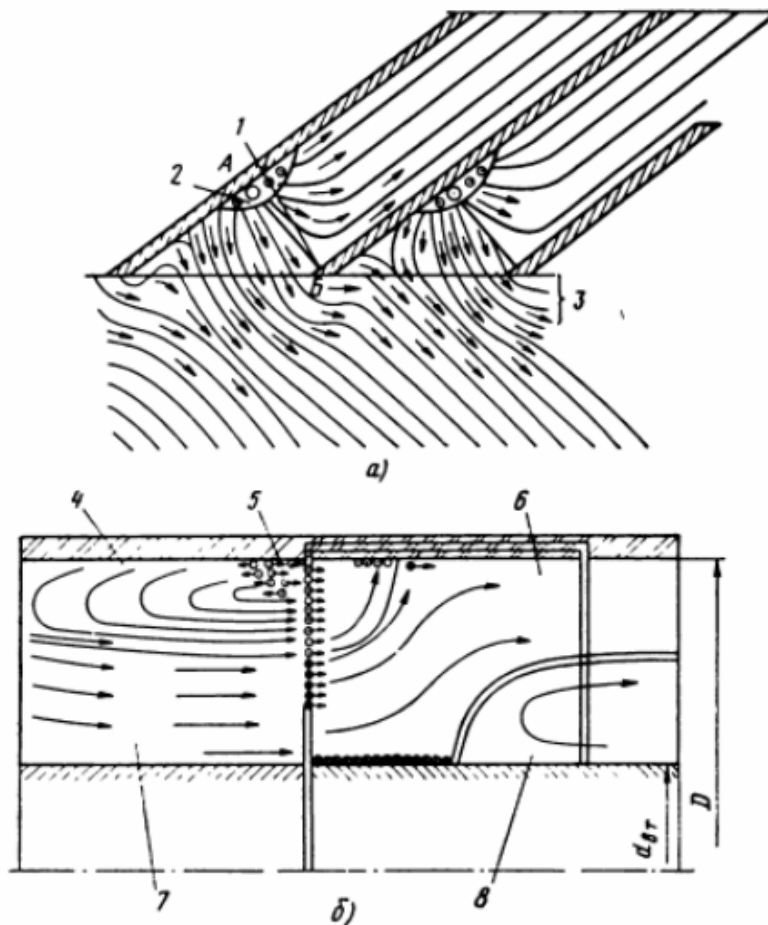


Рис. 1. Картина течения во входной части шнекового преднасоса

- 1 — точка торможения потока; 2 — источник;
 3, 5 — циркуляционные потоки; 4 — обратные токи на входе; 6 — шнек;
 7 — активный поток; 8 — обратные токи на выходе:
 а — периферийное сечение; б — меридиональное сечение

Как видно из рисунка обратные токи имеют вихревой характер. Пульсации давления, возникающие в зоне отрыва, передаются как против потока, так и по потоку к центробежному колесу. Эти пульсации давления, являясь одним из источников шума, вызывают дополнительные нестационарные силы, действующие на элементы насоса, что отрицательно сказывается на работе всего насоса.

В конструкциях насосных агрегатов, подобных рассматриваемой в работе [4], на входе в насос устанавливается направляющий аппарат, для снижения закрутки потока перед шнековым колесом. Однако, вместо выполнения своей основной функции, направляющий аппарат насоса, создавал условия для возникновения сложных вихревых структур. Такие вихревые структуры являлись источниками пульсаций давления, были причиной возникновения высоких уровней вибрации.

В целях снижения пульсаций давления было предложено изменить конструкцию лопаточной системы на входе в насосный агрегат и таким образом предотвратить возникновение неоднородностей в потоке, и тем самым снизить уровень пульсаций давления.

«Новая» лопаточная система представляла собой «экран» состоящий из участка перфорированной трубы с фланцем, в который помещена лопаточная решетка с количеством лопаток большим, чем в направляющем аппарате исходной конструкции. На рис. 2 приведен применённый участок трубопровода.



Рис. 2. Участок трубопровода с перфорацией и направляющим аппаратом

Как можно судить по результатам экспериментальных исследований, благодаря применению такой конструкции, удалось снизить общую неоднородность потока на входе в насос и обеспечить незначительное снижение величин пульсаций давления и вибрации.

В целом, выполненный обзор показывает, что не существует единой методики снижения уровней неоднородности потока и способов предотвращения возникновения вихревых структур в перекачиваемой насосом жидкости.

Однако, при детальном изучении конструкции насоса, а так же структуры течения рабочей жидкости, была выдвинута идея по модернизации насоса, позволяющая уменьшить интенсивность вихревого течения и тем самым снизить его влияние на основной поток.

Выводы

1. Проанализированны причины возникновения вибрации в насосах.
2. Перечислены последствия негативного влияния обратных токов на работу насоса.
3. Проанализированны рассмотренные методы уменьшения негативного влияния обратных токов на вибрационные характеристики центробежного насоса.

Список литературы

[1] *Ильдияров Е.Н., Коротков В.В.* Исследование течения потока жидкости в проточной части осевой ступени насоса // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. - Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – Т. 1 – С. 136-140.

[2] *Панаиотти С.С., Савельев А.И., Кузнецов А.В.* Автоматизированный расчет и проектирование высокооборотного шнекоцентробежного насоса: Руководство пользователя. — Калуга, 2008. — 70 с.

[3] *Анкудинов А.А.* Предложения по модернизации конденсатно-питательной системы энергоблоков тепловых электростанций / Анкудинов А.А., Мелашенко В.И., Панаиотти С.С. // Инженерный вестник. – 2015. - №8. - С. 14-19. URL: <http://ainjournal.ru/doc/786508.html> (дата обращения 11.02.2020).

[4] *Гафуров С.А., Родионов Л.В., Крючков А.Н., Макарьянц Г.М., Шахматов Е.В.* Влияние конструкции входного участка шнеко-центробежной ступени комбинированного насоса на вибрационное и пульсационное состояние // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета №2(33) 2012г с. 155-163

[5] *А. Елин, А. Иванюшин, С. Луговая, Е. Князева, И. Твердохлеб.* Результаты создания насоса НМ10000-380-2: исследование течения в проточной части и определение его интегральных характеристик. Насосы и оборудование, 2009, №1. с. 32-34.

[6] *Коротков В.В., Минеев В.А.* Исследование и разработка способа повышения эффективности центробежного насоса // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2019. – № 3 (26). – С. 19–24. – [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения 11.02.2020).

<http://nto-journal.ru/uploads/articles/3cebb8ba8e9a11bcc1fa31a8221881bf.pdf>

Ильдияров Евгений Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: 79190370518@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашин», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАСОСА-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Газотурбинные установки (ГТУ) находят все более широкое применение в качестве стационарных источников энергии. Преимущества ГТУ перед паровыми турбинами и установками на базе двигателей внутреннего сгорания определили широкий диапазон их применения в стационарной практике, в первую очередь для привода генераторов с утилизацией тепла выпускных газов [1].

Насос-регулятор предназначен для питания топливом и регулирования режимов работы ГТУ путем изменения подачи топлива в камеру сгорания. В составе ГТУ насос-регулятор обеспечивает выполнение следующих функций:

1) Дозирование топлива на запуске и разгоне, обеспечивающее выход ГТУ на режим холостого хода.

2) Выдачу релейного электрического сигнала при выходе ГТУ на номинальную частоту вращения ротора.

3) Поддержание заданной частоты вращения ротора на рабочих режимах.

4) Ограничение максимального давления топлива перед форсункой ГТУ.

Основные технические характеристики насоса-регулятора:

1) Номинальная частота вращения привода- 4043 об/мин.

2) Направление вращения- по часовой стрелке

3) Сигнализатор номинальной частоты вращения размыкает электрическую цепь при частоте вращения 3920-4000 об/мин.

На рис. 1 представлен общий вид насоса-регулятора.

Насос состоит из следующих элементов: качающий узел, корпус насоса, ротор, уплотнения.

В качающий узел насоса входит плунжерный блок пять плунжеров со всасывающими клапанами, пять плунжерных пружин с колпачками, прокладками, и втулками, пять комплектов нагнетательных клапанов и наклонная шайба. Каждый плунжер имеет седло для всасывающего клапана и четыре отверстия для подвода топлива.

При вращении ротора каждый плунжер совершает возвратно-поступательное движение, делая за один оборот ротора ход всасывания и нагнетания. В начале хода всасывания плунжер находится в крайнем нижнем положении. Всасывающий клапан и нагнетательный клапан закрыты. В период хода всасывания плунжер движется в блоке под действием пружины вправо, отслеживая положение наклонной шайбы относительно плунжерного блока. Под действием возникшего при движении плунжера перепада давлений всасывающий клапан открывается и топливо поступает в цилиндр. Нагнетательный клапан в этот период еще закрыт и удерживается в

закрытом положении давлением топлива в нагнетательной полости. При повороте ротора на 180° с момента начала всасывания плунжер начинает двигаться в обратном направлении совершая рабочий ход нагнетания. Всасывающий клапан из за повышения давления в цилиндре закрывается. Давление в цилиндре растет [2]. При достижении давления в цилиндре равного давлению топлива в нагнетательной полости нагнетательный клапан открывается и топливо из цилиндра начинает вытесняться в нагнетательную полость. Когда давление топлива в цилиндре становится меньше или равным давлению в нагнетательной полости, нагнетательный клапан закрывается и плунжер снова возвращается в крайнее левое положение.

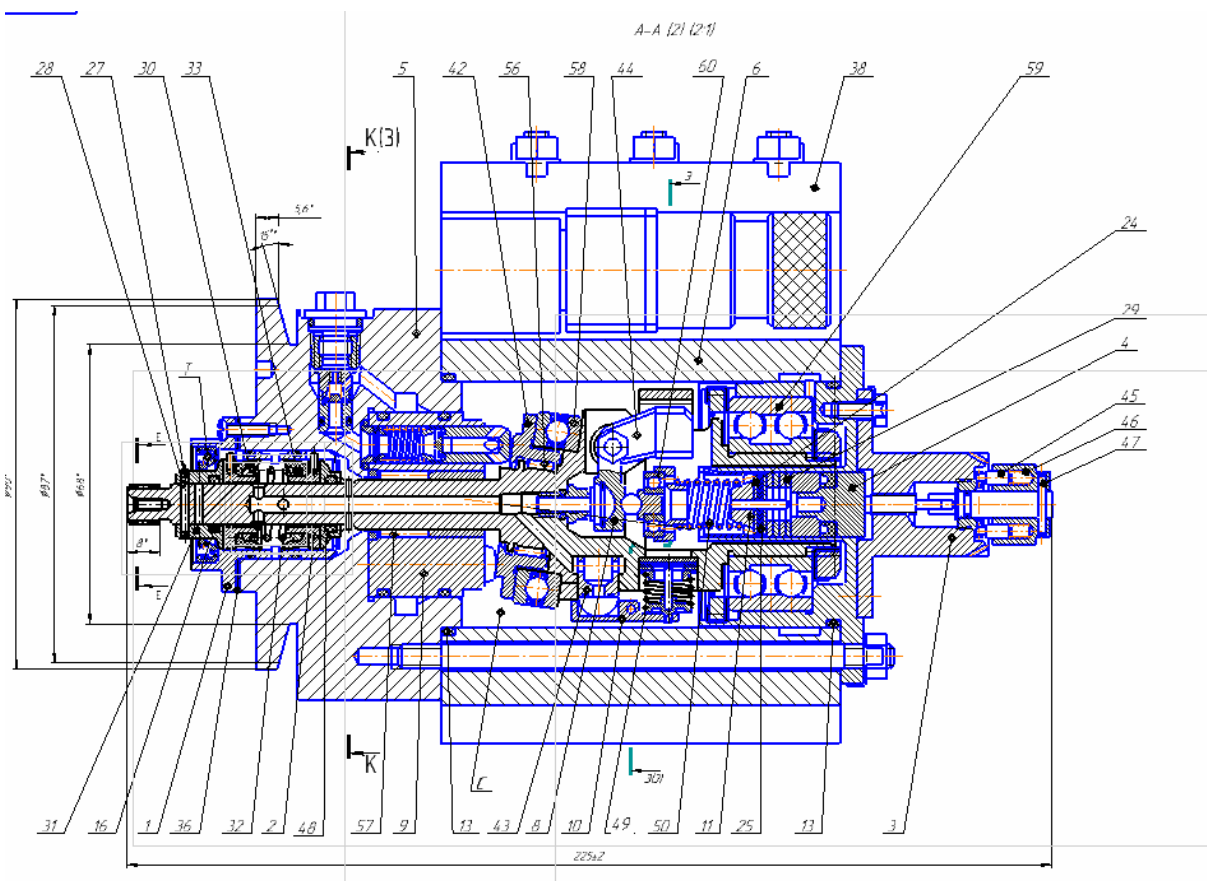


Рис. 1. Общий вид насоса-регулятора

Основной задачей насоса-регулятора является поддержание постоянного режима работы ГТУ и минимизация провалов по оборотам и давлению.

Работу газотурбинной установки можно разделить на следующие этапы:

- Запуск ГТУ
- Разгон (набор оборотов)
- Выход ГТУ на режим (в нашем случае-режим холостого хода)

При использовании механической регулировки (регулирование электромагнитного клапана на определенные параметры) часто наблюдается провал по оборотам, а так же наличие статической ошибки, на момент которой наблюдается отсутствие регулирования, что является недопустимым явлением при разгоне ГТУ и выхода его на режим [3].

В таком случае необходима более тонкая настройка регулятора и в случае с механическим регулированием ее невозможно осуществить.

Для реализации этих требований был введен электро-гидравлический преобразователь ПС-7, выполняющий роль электронного корректора частоты вращения [4]. Суть его заключается в том, что при использовании ручной настройки процесс регулирования начинался лишь на каких-то определенных параметрах, что не давало необходимого результата, но при введении ПС-7 процесс регулирования начинается с момента запуска ГТУ и продолжается постоянно, о чем свидетельствует значительное снижение провала по оборотам и давлению. На рис.2 представлена статическая характеристика регулятора частоты вращения, из нее следует, что при введении электро-гидравлического корректора наблюдается более стабильное значение числа оборотов. На кривой с обозначением числа оборотов n'' показан механический тип регулирования. На кривой с обозначением числа оборотов n' показан тип регулирования с применением электро-гидравлического корректора оборотов.

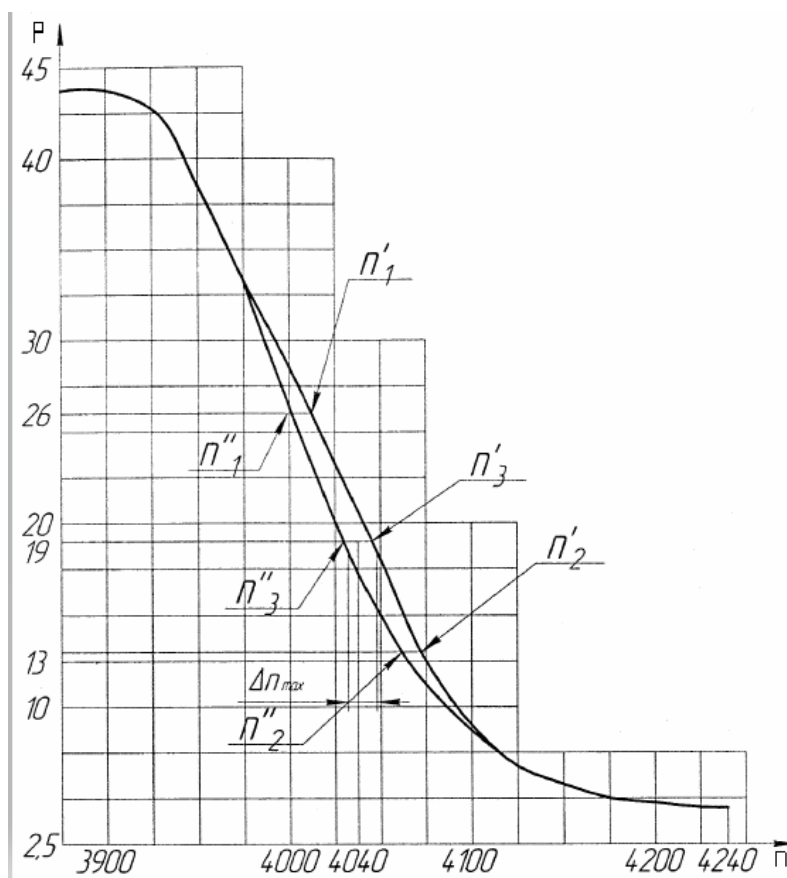


Рис. 2. Статическая характеристика регулятора частоты вращения с механическим регулированием и с применением корректора частоты вращения

Следовательно, можно сделать вывод, что применение корректора частоты вращения минимизирует провал по оборотам и обеспечивает регулирование на всем процессе работы ГТУ. Поэтому данный способ регулирования является оптимальным, в отличие от механического.

Список литературы

[1]. *Григорьев В.А.* Вертолетные газотурбинные двигатели / В.А. Григорьев. - Москва: Машиностроение, 2007. – 144 с

[2]. *Когге Ю.К. Майский Р.А.* Основы надежности авиационной техники: Учебник для студентов авиационных техникумов— М: Машиностроение, 1993. — 176 с

[3]. *Основы проектирования и характеристики газотурбинных двигателей*, [пер. с англ.], М., 2011;

[4]. *Салов Н.Н.* Гидродинамика и теплообмен в роторах и трансмиссиях газотурбинных двигателей. Уменьшение температурных напряжений в дисках / Н.Н. Салов. - М.: Вузовский учебник, 2017. - 318 с.

Илья Павлович Заболотский – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: ilua_zabolotsky333@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЛАСТИНЧАТОГО ГИДРОМОТОРА С РАЗГРУЗКОЙ ПЛАСТИН

Пластинчатые насосы могут быть надежно обратимы только в том случае, если их конструкция предусматривает принудительный прижим пластин к статору при пуске. Разгрузка пластин в радиальном направлении от давления рабочей жидкости уменьшает износ статора и пластин и повышает долговечность гидромотора при работе на давлении, достигающем до 24 МПа.

Принципиальная схема гидромашины с разгруженными пластинами представлена на рис. 1.

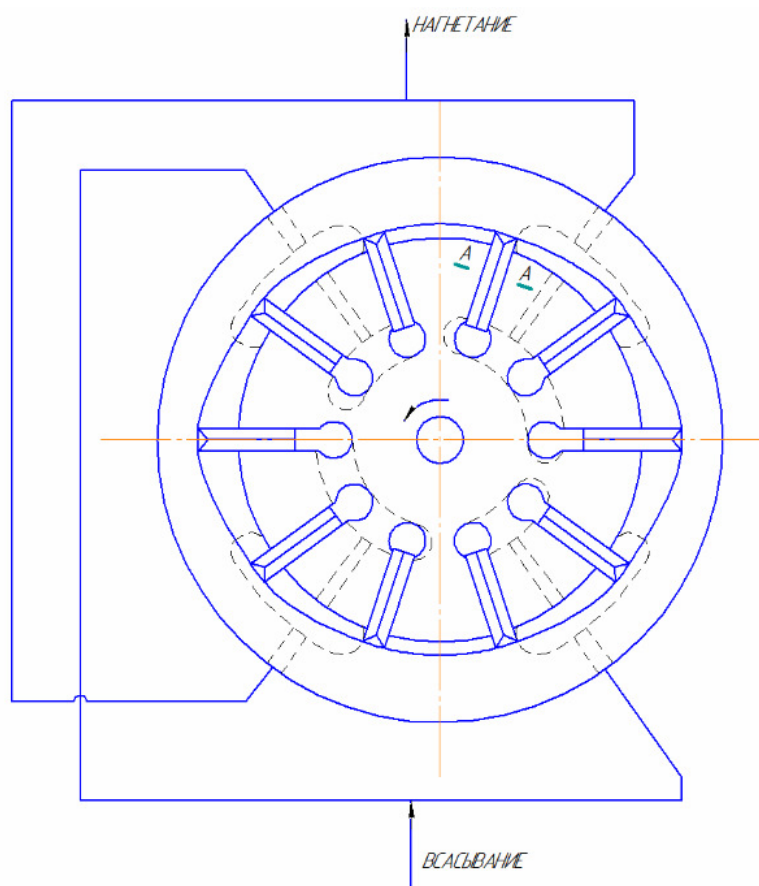


Рис. 1. Принципиальная схема пластинчатой гидромашины двойного действия с разгруженными пластинами при расположении двух пластин в каждом пазу ротора

Особенностью данной схемы является наличие в каждом пазу ротора двух пластин, имеющих скошенные кромки на гранях, примыкающих к боковым дискам и к статору, так что уплотнение между полостями всасывания и нагнетания осуществляется двумя кромками [3].

При прохождении пластинами полости всасывания пространство под пластинами соединяется с всасывающей магистралью, а при прохождении пластинами полости нагнетания пространство под пластинами соединяется с

напорной магистралью, вследствие чего они разгружены в радиальном направлении от давления рабочей жидкости. Пластины производят всасывание и нагнетание рабочей жидкости, подобно поршням в роторно-поршневых насосах, причем эта подача прибавляется к основному потоку, нагнетаемому из камер между пластинами [2].

Рассмотрим вопрос определения теоретической производительности насоса с рассмотренной схемой разгрузки.

Теоретическая производительность определится как разность объемов двух камер умноженная на число образованных пластинами камер и скорость вращения ротора с учетом двойного действия насоса:

$$Q_T = 2\left(\frac{1}{2}(R^2 - r_p^2)\beta - \frac{1}{2}(r_0^2 - r_p^2)\right)Bnz \quad (1)$$

Так как $\beta = \frac{2\pi}{z}$, то

$$Q_T = 2\pi Bn(R^2 - r_0^2) \quad (2)$$

С учетом объема, занимаемого пластинами, эта производительность должна быть уменьшена на величину:

$$q = \frac{2\pi Bn(R^2 - r_0^2)}{\cos \zeta}, \quad (3)$$

где ζ – угол наклона пластин на радиусе R.

Поэтому теоретическая производительность такой гидромашины при обычно принятом радиальном расположении пластин определится формулой

$$Q_T = 0.002\pi Bn(R - r_0)(R + r_0), \quad (4)$$

где B – ширина ротора, мм; n – скорость вращения ротора, об/мин.

Во время процесса всасывания пластины не нагружаются давлением нагнетания, и единственной силой, прижимающей их к статору, является центробежная сила [1]. Исходя из приведенного ранее неравенства, сила прижима пластины к статору.

$$P_u = m\omega^2\left(r_0 - \frac{1}{2} - \frac{4(R - r_0)}{a^2}\right), \quad (5)$$

где m – масса пластины

Из этого уравнения можно сделать вывод о том, что повышение силы прижима может быть достигнуто увеличением массы пластины и повышением угловой скорости вращения ротора.

Таким образом, расчет гидромашин с указанной схемой разгрузки имеет определенные особенности. При расчете теоретической производительности учитывается объем камер под пластинами. При определении и принятии геометрических размеров пластин необходимо учесть выполнения условия превышения центробежной силы над силами трения пластины в пазу статора.

Список литературы

[1] *Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник. 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

[2] *Зайченко И.З., Мышлевский Л.М.* Пластинчатые насосы и гидромоторы. М.: Машиностроение, 1970. 229 с. Машиностроительный гидропривод: учеб. пособие / под ред. В.Н. Прокофьева. М.: Машиностроение, 1978. 495 с.

[3] *Чупраков Ю.И.* Гидропривод и средства гидроавтоматики. М.: Машиностроение, 1979

Волков Глеб Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: gleb4ikvolk@gmail.com

Савин Владимир Юрьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: savin.study@yandex.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОЖИДАЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Сложность рабочего процесса лопастного насоса затрудняет расчет его характеристики. Между тем уже при проектировании часто необходимо иметь эту характеристику, чтобы установить эксплуатационные свойства насоса, оценить его эффективность и конкурентоспособность с имеющимися аналогами.

В работе [1] предлагается интересная методика, которая позволит, выполнив несложные вычисления, получить ожидаемые характеристики вновь проектируемого насоса. Эта методика использует статистические данные испытаний большого числа насосов различного типа.

Целью данной работы является оценка возможности применения методики [1] для проектируемого многоступенчатого скважинного погружного насоса на следующие параметры: номинальная подача $Q = 4 \text{ м}^3 / \text{ч}$, номинальный напор $H = 200 \text{ м}$, номинальная частота вращения $n = 2850 \text{ об/мин}$. Данный насос, по предварительной оценке [2], имеет 50 ступеней.

Достоверность ожидаемых энергетических характеристик проектируемого насоса, полученных по методике [1], будем оценивать, сравнивая их с характеристиками, полученными по программе «Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса» [3], которые условимся называть расчетными характеристиками.

Совместив расчетную и ожидаемую КПД характеристику на одной координатной плоскости (рис. 1), можно наблюдать практически полное совпадение во всем диапазоне подач. На номинальном режиме значение ожидаемого КПД на 3% меньше расчетного КПД.

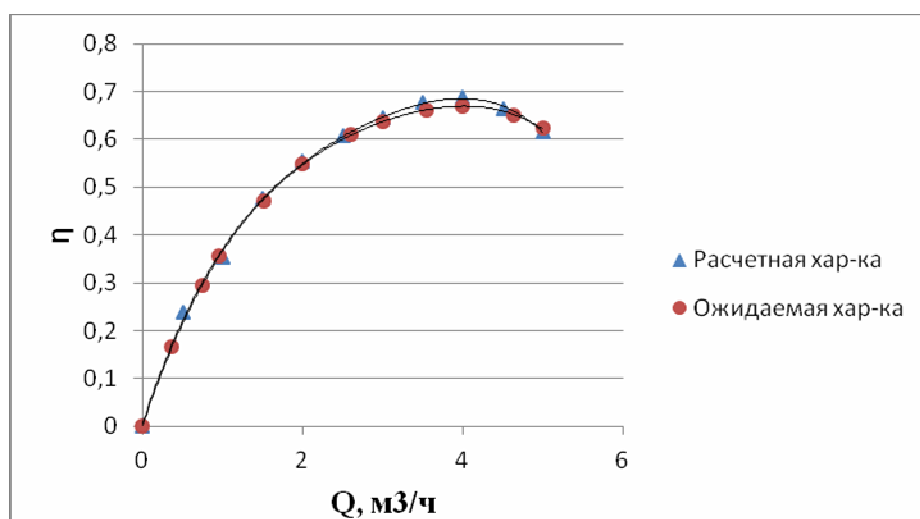


Рис. 1. Расчетная и ожидаемая КПД характеристики

Совместив расчетную и ожидаемую мощностные характеристики на одной координатной плоскости (рис. 2), можно наблюдать, что данные графики во всем диапазоне подач линейны. На номинальном режиме ожидаемая $N_{ном}$ на 2% превышает расчетное значение. При малых подачах ожидаемые значения мощности несколько ниже рассчитанных по программе [3].

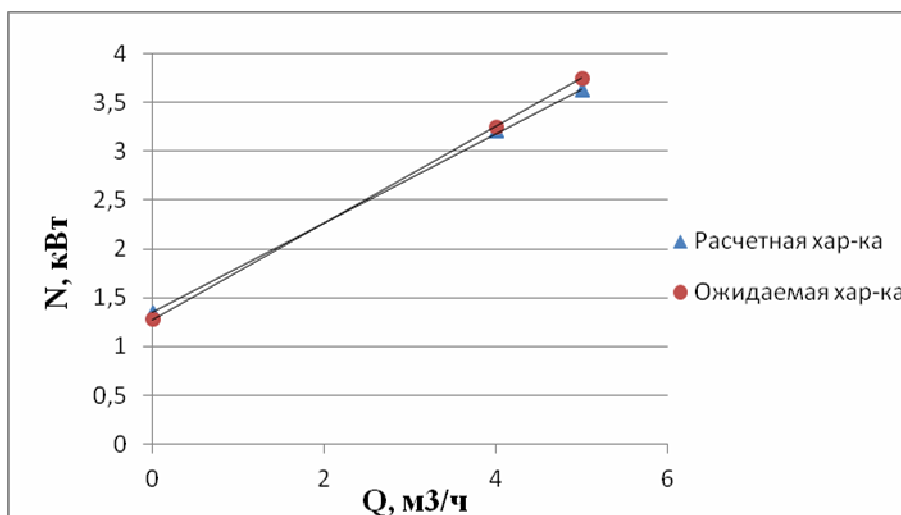


Рис. 2. Расчетная и ожидаемая мощностные характеристики

Ожидаемая и расчетная напорные характеристики представлены на рис. 3. Можно наблюдать, что ожидаемая напорная характеристика проектируемого насоса в рабочем диапазоне подач хорошо совпадает с расчетной характеристикой. На малых подачах ожидаемый напор имеет большие значения. Это объясняется наличием обратных токов на входе в центробежное колесо при работе насоса с малыми подачами. Для упрощения расчета в данной работе обратные токи не учитывались. Следует отметить, что на номинальном режиме значения ожидаемого и расчетного напора имеют полное совпадение.

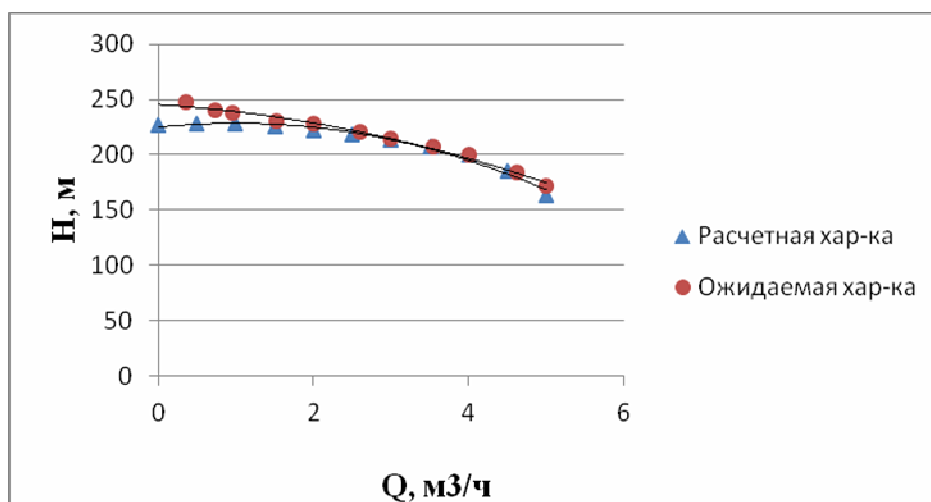


Рис. 3. Расчетная и ожидаемая напорные характеристики

Результаты сравнения расчетных и ожидаемых энергетических характеристик проектируемого многоступенчатого насоса, позволяют сделать следующие выводы:

1. Методика [1] расчета ожидаемых энергетических характеристик обеспечила высокий результат точности для многоступенчатого скважинного насоса. Погрешности ожидаемых КПД и мощностной характеристик в сравнении с расчетными составили 3% и 2% соответственно. Значения расчетного и ожидаемого напора на номинальном режиме полностью совпали.

2. Методика [1] пригодна для получения ожидаемых энергетических характеристик проектируемых многоступенчатых центробежных насосов в рабочем диапазоне подач.

Список литературы

[1]. *Зотов Б.Н.* Расчёт ожидаемых энергетических характеристик центробежных насосов на стадии проектирования. Сб. науч. Тр. Междунар. Науч.-техн. конф. , 9-10 июня 2016 г –СПб.: Из-во Политех. ун-та, 2016, - с.167-174.

[2]. *Коротков В.В., Маклачков А.Н.* Выбор типа рабочего колеса проточной части скважинного погружного насоса // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2019. №СВ1 (25). С. 12-17.

[3]. *Кузнецов А.В.* Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса: учебное пособие/ А.В. Кузнецов, С.С. Панайоти, А.И. Савельев. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 188 с.

Маклачков Андрей Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: maklachckov.andrei@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашин», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСЕВИХРЕВОЙ СТУПЕНИ В ТУРБОНАСОС

В совокупности насосы с турбиной образуют единый энергетический узел - турбонасосный агрегат (ТНА), являющийся «сердцем» ракетного двигателя. По своим характеристикам и, в частности, по удельной мощности, т.е. мощности, приходящейся на единицу расхода, данные агрегаты среди энергетических машин образуют отдельную группу [2].

В статье проводятся результаты исследования возможности применения осевихревой ступени, установленной перед центробежной ступенью турбонасоса. Это может привести к устранению западания напорной характеристики турбонасоса на малых подачах, снизит пульсации давления и вибрацию. Также непрерывно падающая в зависимости от подачи характеристика потребляемой мощности не позволит турбонасосу произвести угон по оборотам при снижении подачи.

Для улучшения кавитационных качеств турбонасосов судовых энергетических установок, насосов жидкостного ракетного двигателя и других систем применяют предвключенные осевые колеса шнеки. Шнеки имеют высокие кавитационные качества, просты в изготовлении. Однако на режимах малых подач на входе у шнеков образуются обратные токи жидкости, которые приводят к пульсациям давления, повышенной вибрации и неустойчивой работе турбонасосного агрегата. Неустойчивая работа турбонасосного агрегата может быть вызвана и западанием напора на малых подачах. При работе турбонасосов на малых подачах может возникать и опасное повышение частоты вращения, когда потребляемая мощность турбонасоса становится низкой, а турбина работает с прежними параметрами рабочей среды (расходом и давлением). Для согласования нагрузки насоса и турбины приходится применять сложные системы регулирования и защиты [3].

В качестве предвключенного устройства центробежной ступени вместо шнека целесообразнее устанавливать осевихревую ступень, которая имеет высокие кавитационные качества, работает без низкочастотных пульсаций и имеет более высокий напор, непрерывно падающую характеристику напора и потребляемой мощности от подачи.

На рис. 1 представлена осевихревая ступень, состоящая из шнека и расположенной на его периферии неподвижной винтовой решетки

ОВС состоит из осевого колеса шнека и размещённой на его периферии неподвижной винтовой решетки, ход лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. Течение жидкости в ОВС имеет сложный пространственный характер с вихревым течением на периферии. Основные свойства ОВС:

- высокий напор, существенно больший, чем у шнека с таким же диаметром, увеличивающийся линейно от осевой длины; высокие кавитационные качества;

- отсутствие низкочастотных пульсаций и низкая вибрация;
- устойчивая работа на всех режимах по подаче;
- непрерывно падающая напорная и мощностная характеристики, имеющие максимальное значение при нулевой подаче [1].

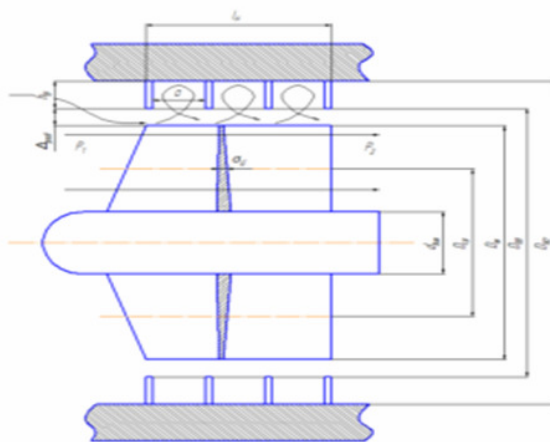


Рис. 1. Осевихревая ступень

Работа осевихревого насоса основана на передаче энергии лопатками рабочего колеса потоку жидкости в канале. Передача энергии происходит в результате переноса количества движения частицами жидкости, движущимися в межлопаточных ячейках рабочего колеса, потоку жидкости в рабочем канале.

Указанные свойства ОВС позволяют рекомендовать ее в качестве предвключенной ступени турбонасосных агрегатов.

Список литературы

[1] Анкудинов А.А. Расчет и проектирование предвключенной осевихревой ступени центробежного насоса: Учебное пособие. 2-е изд., стереотип. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. — 64 с.

[2] *Насосы* и насосные станции: учебное пособие / К.П. Моргунов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 308 с. — ISBN 978-5-8114-2956-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: — URL: <https://e.lanbook.com/book/111207> (дата обращения: 24.03.2020).

[3] *Теория* и расчет агрегатов питания ЖРД. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. — М.: Машиностроение, 1979. — 343 с.

Ващенко Анастасия Витальевна — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sveridova.alenka@yandex.ru

Анкудинов Анатолий Александрович — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: ankudinov2808@yandex.ru

Научный руководитель: Анкудинов Анатолий Александрович. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: ankudinov2808@yandex.ru

ПИД-РЕГУЛЯТОР КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА БЛОЧНОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

В данной статье предложена математическая модель следящего электро-механического привода, конструктивно способного с заданной скоростью и точностью управлять положением промежуточного усилительного элемента – отсечного золотника в составе исполнительного гидравлического механизма (блока регулирования) паровой турбины с помощью ПИД-регулятора [1].

Рассмотренная математическая модель ЭМП составлена по опытному образцу привода, спроектированному и изготовленному ЗАО «Диаконт» (г. С.-Петербург) [2] для применения в энергетике, в т.ч. в системах регулирования частоты вращения паровых турбин ОАО «КТЗ» (г. Калуга). Характерной особенностью их является применение гидравлического исполнительного механизма - гидромеханического блока регулирования - для управления положением паровпускных регулирующих клапанов парораспределения турбины [3]. Ход клапанов определяет расход свежего пара на турбину, однако, действующие при этом паровые усилия имеют непостоянный, циклический и даже зачастую знакопеременный характер что и определяет, главным образом, максимальную нагрузку на исполнительные органы блока регулирования в момент отрыва клапана от своего седла. Такое распределение усилий, которые необходимо преодолевать, по возможности, плавно – без рывков, в свою очередь, и обуславливает применение в его конструкции промежуточного усилительного звена – гидравлического отсечного золотника под управлением своего ЭМП.

Таким образом, рассматриваемый следящий привод входит в состав блока регулирования системы автоматического регулирования паровой турбины (САР ПТ), предназначенного для преобразования электрического сигнала управления от электронной управляющей части (ЭУЧ) САР ПТ, в перемещение сервомоторов (СМ), создающих необходимое усилие для перемещения регулирующих клапанов (РК).

Технические требования к функционалу современных контуров автоматического регулирования теплофизических параметров турбины, таких как давление свежего пара или частота вращения ротора, определяют достаточно высокие требования и к комплектуящему их оборудованию. Как из расчётного обосновании, так и из практического опыта эксплуатации можно утверждать, что для контуров рассматриваемого типа (электрогидравлические) достаточным для обеспечения качественной и безопасной работы будет применение ЭМП с характеристиками:

- постоянная времени (перемещение на полный рабочий ход при максимальном входном управляющем сигнале - важный компонент противоразгон-

ной защиты турбоагрегата) – не более 0,1 сек;

- погрешность позиционирования – не более 0,1 мм;

- развиваемое усилие – не менее 1 кН.

ПИД регулятор - прибор, встроенный в управляющий контур, с обязательной обратной связью. Он предназначен для поддержания установленных уровней задаваемых величин, например, температуры воздуха. Устройство подает управляющий или выходной сигнал на устройство регулирования, на основании полученных данных от датчиков или сенсоров. Контроллеры обладают высокими показателями точности переходных процессов и качеством выполнения поставленной задачи [4].

Работа ПИД-регулятора заключается в подаче выходного сигнала о силе мощности, необходимой для поддержания регулируемого параметра на заданном уровне. Для вычисления показателя используют сложную математическую формулу, в составе которой есть 3 коэффициента -пропорциональный, интегральный, дифференциальный. ПИД регулятор предназначен для поддержания на требуемом уровне некой величины - температуры, давления, уровня в резервуаре, расхода в трубопроводе, концентрации чего-либо и т.д., изменением управляющего воздействия на исполнительные механизмы, такие как автоматические регулирующие клапана, используя для этого пропорциональную, интегрирующую, дифференцирующую величины для своей настройки [4]. Целью использования является получение точного управляющего сигнала, который способен контролировать, в данном случае, скорость вращения турбины.

В результате составления математической модели СПОЗ имеем следующие функциональную и структурную схемы:

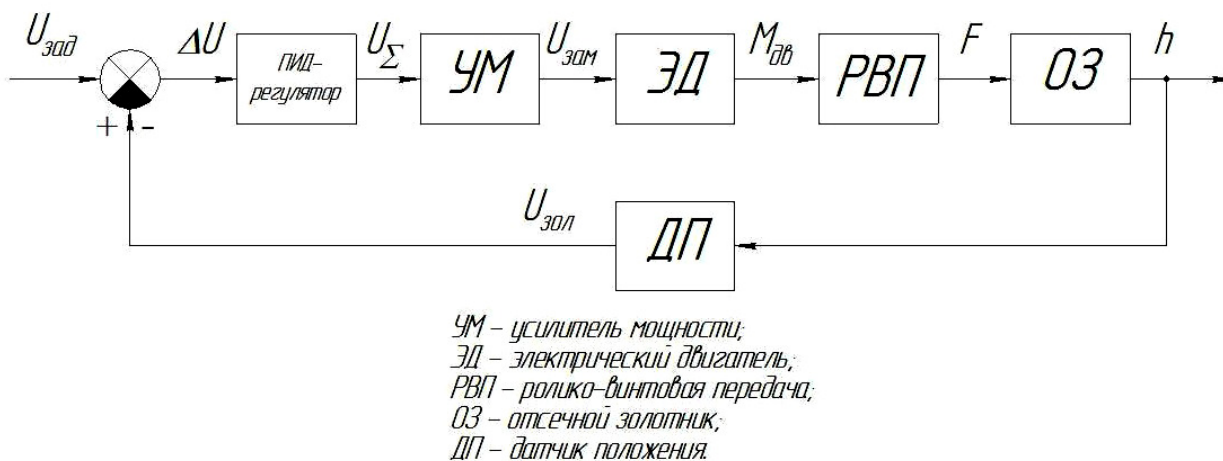


Рис. 1. Функциональная схема СПОЗ

На данном этапе построены функциональная и структурная схемы с применением ПИД-регулятора, которые потребуются для определения области устойчивости по критерию Рауса, а также, для применения процедуры автоматического поиска оптимальных параметров модели в ПО Matlab.

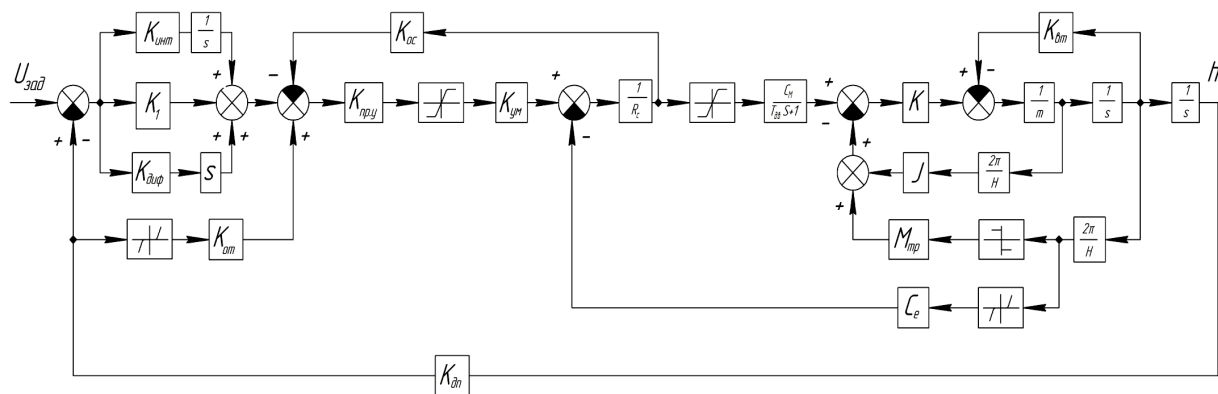


Рис. 2. Структурная схема СПОЗ

Список литературы

[1] Макаров И.В., Сизов А.Н. Следящий электромеханический привод отсечного золотника в электрогидравлической системе регулирования частоты вращения паровой турбины. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 16 – 18 апреля 2019 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. –72-74 с.

[2] Сизов А.Н., Кириллов А.А., Кушбасов А.Н. Концепция разработки оборудования для блочной АТГУ и ПТУ. Анализ существующих схем регулирования и предложения по их модернизации. Материалы X молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее – 2012». – СПб.: Изд-во ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2012.

[3] Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П. и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

[4] Макаров И.В., Сизов А.Н. Применение технологии линейных перемещений для управления исполнительных органов в электрогидравлических системах позиционирования. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 13–15 ноября 2018г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.– с. 254-256.

Макаров Игорь Владиславович – студент, магистрант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: makar5883@gmail.com

Сизов Александр Николаевич – зам. гл. констр. отд. гидравл. систем и компл. автом., доц. каф. К2-КФ, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: sizov_an@ktz.power-m.ru

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Определение аэродинамической силы, действующей на тело в потоке, является важной инженерной задачей. Её решение требуется при проектировании планеров самолетов и корпусов автомобилей, элементов проточной части турбоустановок, для расчета ветровой нагрузки зданий, опор мостов, дымовых труб. Определение силового воздействия на произвольное тело вязкого турбулентного потока жидкости или газа аналитическими методами невозможно. Основной способ получения аэродинамических характеристик – метод экспериментального исследования, проведения физического натурального эксперимента. Методы физического исследования имеют недостаток – сложность проведения и подготовки эксперимента, дороговизна, а иногда и уникальность используемого оборудования. Альтернативой является исследование методами численного эксперимента с помощью CFD-пакетов. В основе численного аэродинамического эксперимента лежит приближенное решение системы уравнений, описывающих движение вязкой жидкости или газа – уравнений Навье-Стокса. На полученное решение влияет конфигурация расчетной области и густота расчетной сетки, принятые модели турбулентности, метод численного решения уравнений движения вязкой жидкости.

Существенно увеличивает ценность результатов численного эксперимента их сравнение с данными, полученными при натурном физическом эксперименте. При их хорошем соответствии, использование CFD пакетов позволяет ещё до создания дорогостоящих макетов установок или прототипов отбросить неудачные варианты, тем самым сэкономив средства и время.

В данной работе проводилось исследование аэродинамических характеристик цилиндрического профиля путем физического эксперимента в аэродинамической трубе ТМЖ-1М [1] и его численное исследование в CFD-пакете с целью сравнения полученных результатов. Использовались CFD-пакеты такие как SolidWorks FlowSimulation [2] и Simflow [3]. Размеры расчетной области и густота расчетной сети принимались одинаковыми, остальные настройки принимались «по умолчанию».

Исследовалось обтекание цилиндра диаметром $d=30$ мм потоком воздуха со скоростью $c_0 = 21, 31$ и 42 м/с, что соответствует числам Рейнольдса $Re = 43431, 57850$ и 77220 соответственно. Как в ходе физического, так и численного эксперимента определялось распределение давления p_i по окружности цилиндра. На рис. 1. представлено распределение безразмерного коэффициента давления $\bar{p} = (p_i - p_0) / (0,5 \rho c_0^2)$ по окружности цилиндра ($\varphi = 0^\circ$ соответствует передней критической точке) для скорости $c_0 = 21$ м/с

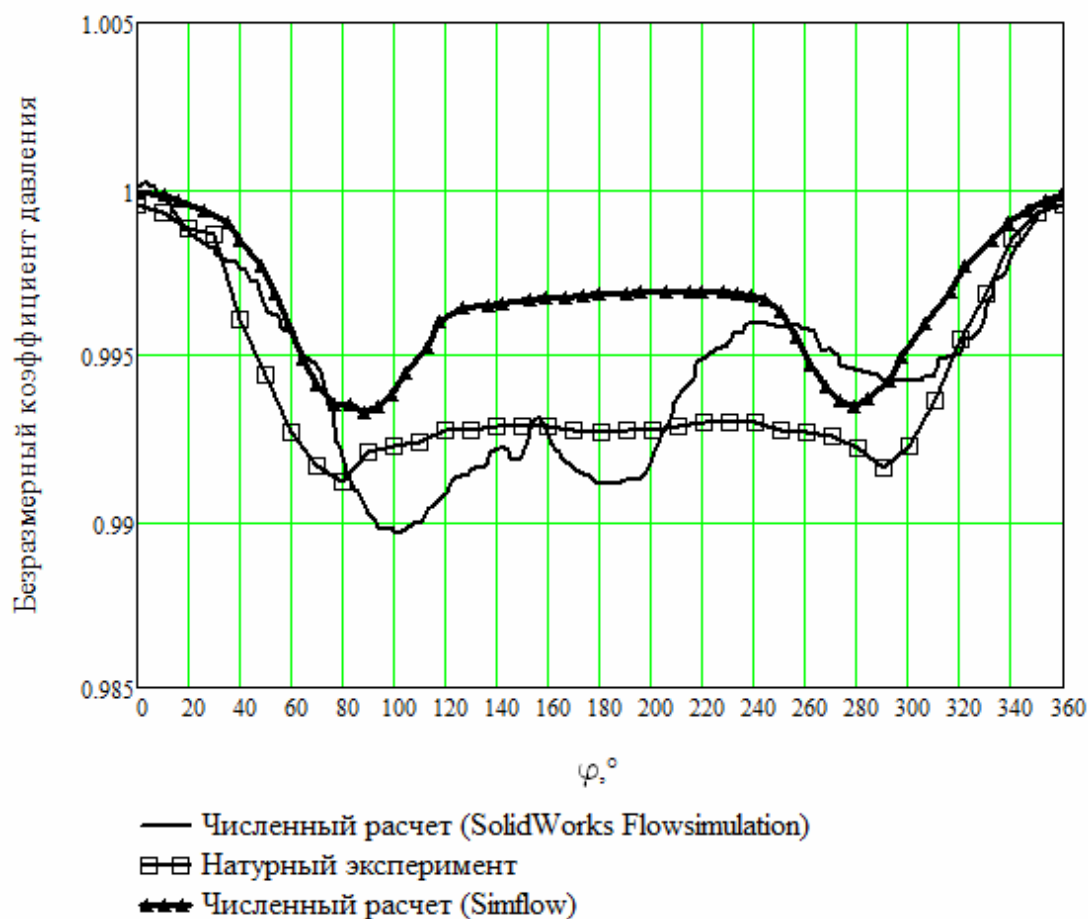


Рис. 1. Распределение давления по окружности цилиндра

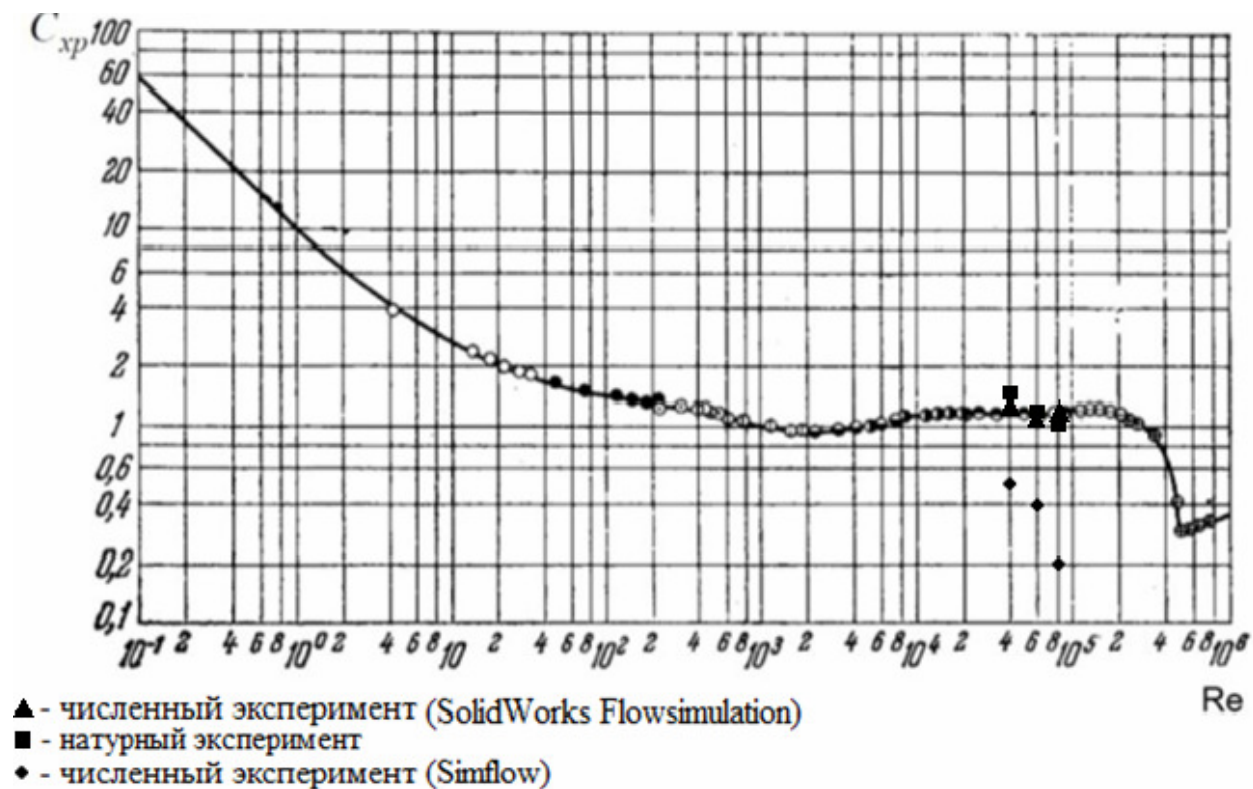


Рис. 2. Графическая зависимость лобового коэффициента давления от числа Рейнольдса

На основе полученного распределения определялся коэффициент лобового сопротивления как

$$C_x = \Delta\varphi \sum_{i=1}^n (p_i \cos \varphi),$$

где $\Delta\varphi$ – шаг по углу между точками замера давления.

Сравнение полученных данных с экспериментальной зависимостью коэффициента лобового сопротивления (C_x) от числа Рейнольдса (Re) приведено на рис. 2. [4]

Установлено, что сходимость результатов натурального эксперимента и численного моделирования с помощью CFD-пакета FlowSimulation, можно охарактеризовать как хорошую, погрешность между экспериментальными и расчетными данными составила менее 17%.

Использование CFD-пакета Simflow дало существенно большую погрешность расчетов – до 85%. Причиной этого, вероятно служит неподходящая модель турбулентности или настройки расчета, а также некоторые различия в значениях и характере продиктованы следующими факторами:

1. Допущения CFD расчета:

- небольшие расхождения в геометрических характеристиках физической и расчетной модели аэродинамического профиля;
- приближительное моделирование турбулентности потока.

2. Факторы опыта:

- погрешность приборов;
- погрешность расчетов вручную.

Список литературы

[1]. *Официальная* страница производителя экспериментального стенда ТМЖ-1М – завода Протон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.zproton.ru/tmzh_1m.html (25.03.2020)

[2]. *Официальная* страница SolidWorks Flow simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> (25.03.2020)

[3]. *Официальная* страница SimFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sim-flow.com> (25.03.2020)

[4]. *Зависимость* коэффициента сопротивления круглых цилиндров различных диаметров d от числа Рейнольдса (измерения Визельсберга) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scask.ru/h_book_ott.php?id=82 (05.04.2020)

Назаров Евгений Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: nazarov3123@gmail.com

Еганян Анна Артемовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: anyaeganyan0@gmail.com

СХЕМА ЧАСТИЧНОЙ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТИНЫ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Пластинчатые насосы могут быть надежно обратимы только в том случае, если их конструкция предусматривает принудительный прижим пластин к статору при пуске. Чтобы обеспечить минимальный износ пластин и статора пластинчатых высокого давления, в их конструкцию вводят различные способы разгрузки пластин. Предложена схема частичной разгрузки пластин (рис. 1).[2]

В основу данной схемы положена двухкромочная пластина 1, обеспечивающая повышенный ресурс работы насоса вследствие поочередной работы кромок на циклах всасывания и нагнетания. При этом нижняя часть пластины тоньше верхней вследствие выполнения соответствующей выборки. Соответствующую форму имеют и пазы ротора 2.

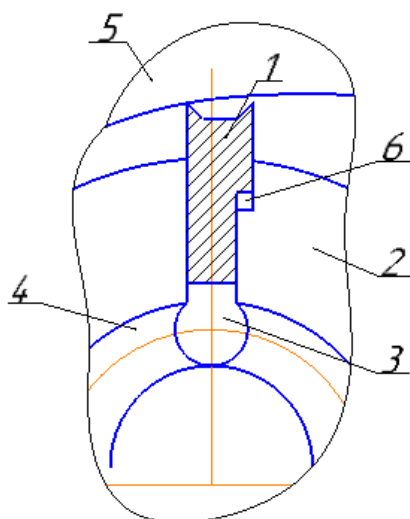


Рис. 1. Принципиальная схема пластинчатого насоса двойного действия с частично разгруженными пластинами

В данной конструкции предложена наиболее простая схема подвода рабочей жидкости под пластины в камеры 3 с использованием кольцевой канавки 4. В процессе работы контакт пластин с кривой статора осуществляется под действием центробежной силы и давления нагнетаемой жидкости, которая для этой цели подводится в кольцевую канавку.

Для обеспечения надежного уплотнения между пластиной и статором 5, требуется строго радиальное положение пазов в роторе и точное выполнение верхних кромок пластины, находящихся в контакте со статором; в противном случае будут иметь место значительные утечки рабочей жидкости через одну из верхних кромок пластины. Камера 6, образованная выступами пластины и ротора сообщается с полостью всасывания через канавки, выполненные в распределительных дисках.

Таким образом, пластина прижимается к статору силой, величина которой определяется давлением рабочей жидкости и площадью нижней кромки пластины.

Список литературы

[1] *Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник. 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

[2] *Зайченко И.З., Мышлевский Л.М.* Пластинчатые насосы и гидромоторы. М.: Машиностроение, 1970. 229 с. Машиностроительный гидропривод: учеб. пособие / под ред. В.Н. Прокофьева. М.: Машиностроение, 1978. 495 с.

[3] *Чупраков Ю.И.* Гидропривод и средства гидроавтоматики. М.: Машиностроение, 1979

Лычагин Алексей Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: lychagin.96@mail.ru

Савин Владимир Юрьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: savin.study@yandex.ru

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Традиционная энергетика базируется на использовании углеводородного топлива – угля, природного газа, нефти. В настоящее время, в связи с признаками глобального потепления, активно развивается энергетика основанная на использовании таких возобновляемых энергоресурсов как энергия солнечного излучения и энергия ветра. Производство электрической энергии на солнечных и ветровых электростанциях, в отличие от традиционных тепловых электростанций, не приводит к выбросу в атмосферу парниковых газов, которые, по мнению ряда исследователей, и являются причиной глобального потепления [1]. Развитие энергетики, основанной на использовании возобновляемых энергоресурсов, возведено в ряд важнейших государственных задач и нашло поддержку на правительственном уровне [2].

В настоящее время, во всем мире, ведется активное строительство ветряных электростанций (ВЭС). За последнее десятилетие отмечен трехкратный прирост генерирующих мощностей – с 200 ГВт в 2010 году до 600 ГВт в 2019 году [3]. В РФ также введено в эксплуатацию несколько ветропарков, ведется строительство новых. До 2023 года запланирован ввод до 900 МВт новых генерирующих мощностей [4].

В настоящей работе проведен предварительный технико-экономический анализ строительства ВЭС в климатических условиях Калужской области.

Для оценки ветроэнергетического потенциала использовались открытые данные о скорости ветра предоставляемые METAR – авиационным метеорологическим кодом для передачи данных о фактической погоде на аэродроме [5]. В нашем случае использовались метеорологические данные для аэропорта Калуга им. К.Э.Циолковского за январь 2020 года [6]. Доступны данные о скорости ветра с интервалом регистрации 3 часа. Замер скорости ветра осуществлялся на высоте 10 м.

Выполненный анализ, позволил построить распределение частоты наблюдения той или иной скорости ветра представленный на рис. 1.

Как видно, в январе 2020 года преобладал ветер от 3 до 6 м/с, средняя скорость ветра составила 3,3 м/с. На основании этих данных ветропотенциал Калужской области можно охарактеризовать как низкий, однако существуют ветрогенераторы, адаптированные к низкой скорости ветра.

Для проведения технико-экономического анализа целесообразности эксплуатации ВЭС был выбран крыльчатый ветрогенератор 48B1/1,5 кВт LOW WIND [7]. Ветрогенератор имеет диаметр колеса 2,8 м и располагается на мачте высотой 9 м. Стоимость ветрогенератора 99900 руб. Паспортная характеристика ветрогенератора представлена на рис. 2.

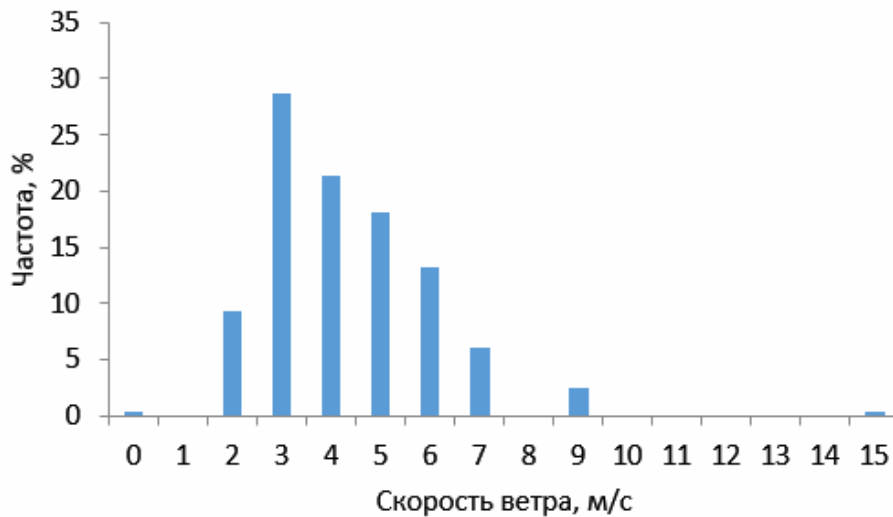


Рис. 1. Распределение частоты наблюдения скорости ветра

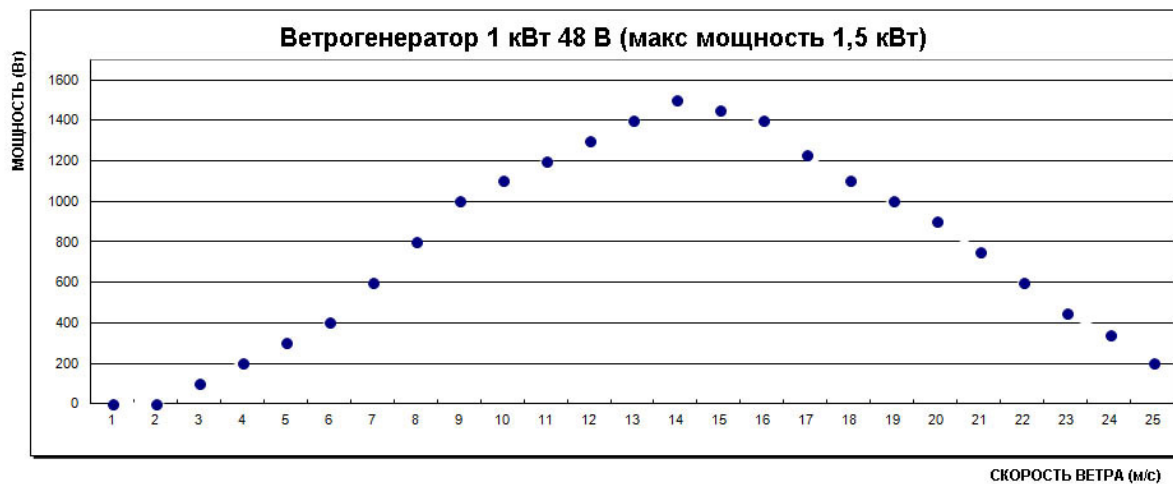


Рис. 2. Характеристика ветрогенератора 48В1/1,5 кВт LOW WIND

Номинальная генерируемая мощность составляет 1,5 кВт при скорости ветра $c=15$ м/с. Максимальный коэффициент использования энергии ветра составляет порядка 12%.

Использованные метеорологические сведения о скорости ветра и характеристика ветрогенератора, аппроксимированная зависимостью позволили произвести расчет фактической энергогенерации за январь 2020 года по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^n (p(c_i) \cdot 3)$$

где $n=247$ – количество трехчасовых интервалов, на протяжении которых скорость ветра считалась постоянной и равной зарегистрированной.

Количество произведенной электроэнергии составило $W=102,4$ кВт·ч, что соответствует КИУМ ветрогенератора 0,09 (9%).

Принимая стоимость электрической энергии $c_{эл}=5$ руб/(кВт·ч), срок окупаемости ветрогенератора без учета затрат на техническое обслуживание, можно оценить в 16 лет.

Учитывая большой срок окупаемости данного ветрогенератора по расчетам, выполненным по заданному месяцу, доступность централизованных электросетей, мы можем сделать предварительный вывод об отсутствии экономической целесообразности эксплуатации маломощностных ВЭС в Калужской области.

Список литературы

[1]. *Антропогенные* и природные воздействия на изменяющуюся тепловую структуру атмосферы |PNAS. URL: <https://www.pnas.org/content/110/43/17235> (Дата обращения 26.03.20)

[2]. *Постановление* правительства РФ №47 от 23.01.2015 “О внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии”.

[3]. *GWEC Global Wind Report*-ежегодное обновление рынка, выпущенное сегодня | глобальный совет по ветровой энергетике. URL: GWEC, Global Wind Report Annual Market Update.www.gwec.net. (Дата обращения 26.03.20)

[4]. *Обзор* российского ветроэнергетического рынка и рейтинг регионов России за 2019 год. Российская ассоциация ветроиндустрии. URL: <https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019/> (Дата обращения 27.03.20)

[5]. *Погода* METAR и TAF. URL: <https://metartaf.ru/> (Дата обращения 19.03.20)

[6]. *Погода* в мире. Режим доступа: <https://rp5.ru> (Дата обращения 19.03.20)

[7]. *Официальный сайт* МАП Энергия – LOW-WIND-48-1.5 Ветрогенераторы. URL: http://www.invertor.ru/zzz/item/low_wind_48_1-1_5 (Дата обращения 19.03.20)

Метлицкий Никита Евгеньевич – студент ТСД.Б-41, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: metlickiyne@mail.ru

Шевелев Денис Владимирович – доцент кафедры, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА НИЗКОКИПЯЩЕМ РАБОЧЕМ ТЕЛЕ

На сегодняшний момент перед мировой энергетикой стоит одна из главных задач – это рациональное и эффективное использование топлива. Среди различных направлений по энергосбережению особенный интерес для мировой и в частности отечественной энергетике, представляют технологии утилизации бросового тепла (выхлопные газы ГТУ, геотермальные источники и др.) [1].

В данной работе представлены результаты ряда экспериментов по исследованию характеристик элементов теплоутилизационной установки на низкокипящем рабочем теле (НРТ) . Утилизационная установка работает по принципу органического цикла Ренкина (ОЦР).

Испытания проводились на экспериментальном стенде, созданном в ЗАО НПВП «Турбоконт» в соответствии с техническим заданием и графиком к Соглашению о предоставлении субсидии № 14.579.21.0148 от 26.09.2017 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ЗАО НПВП «Турбоконт» по теме: «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию конкурентоспособных модульных энергоустановок на геотермальных источниках в регионах с ограниченными водными ресурсами». Фото стенда представлено на рис.1. Данный стенд состоит ПГ 1, конденсатора 2, дополнительного электронагревателя на входе в ПГ 3, системы КИП 4, фильтров 5, трубопроводов жидкой 6 и парообразной фазы НРТ 7, циркуляционных насосов рабочего тела и греющей среды 8, запорной арматуры 9. Рабочим телом в стенде является фреон марки R-113, а в качестве греющей среды используется вода высокого давления (ВД).

Серия испытаний проводилась для парогенератора (ПГ) при переменной тепловой нагрузке, при переменном расходе рабочего тела и при переменном расходе охлаждающей воды в конденсаторе.

На рис.2 представлена зависимость коэффициента теплоотдачи α кВт/м²*°С от теплового потока q кВт/м², полученная в ходе испытаний ПГ при переменном расходе охлаждающей воды на конденсатор. Значения получены для двух участков теплообменных поверхностей, как это показано на схеме ПГ на рис.3. А также коэффициент теплоотдачи для полной поверхности теплообмена ПГ.

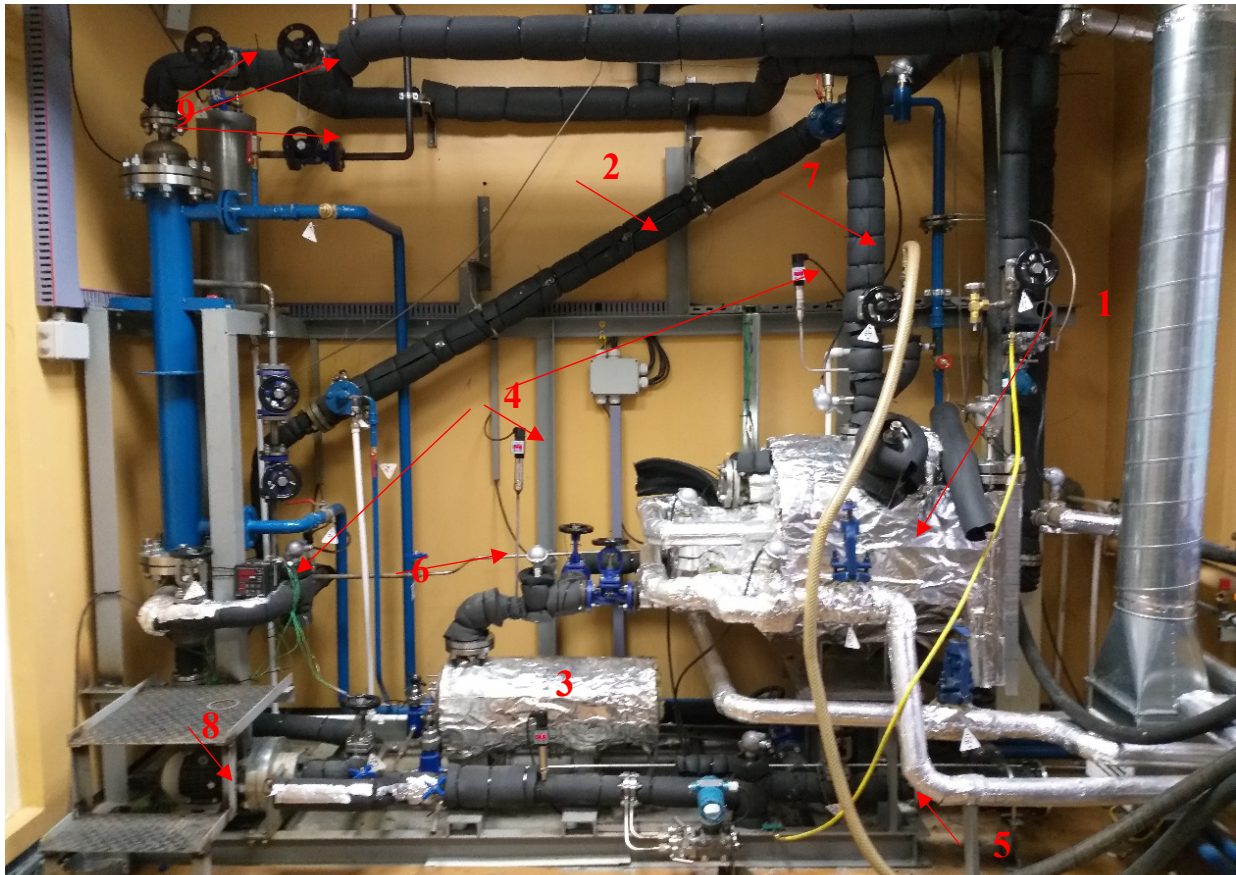


Рис. 1. Экспериментальный стенд ПГ

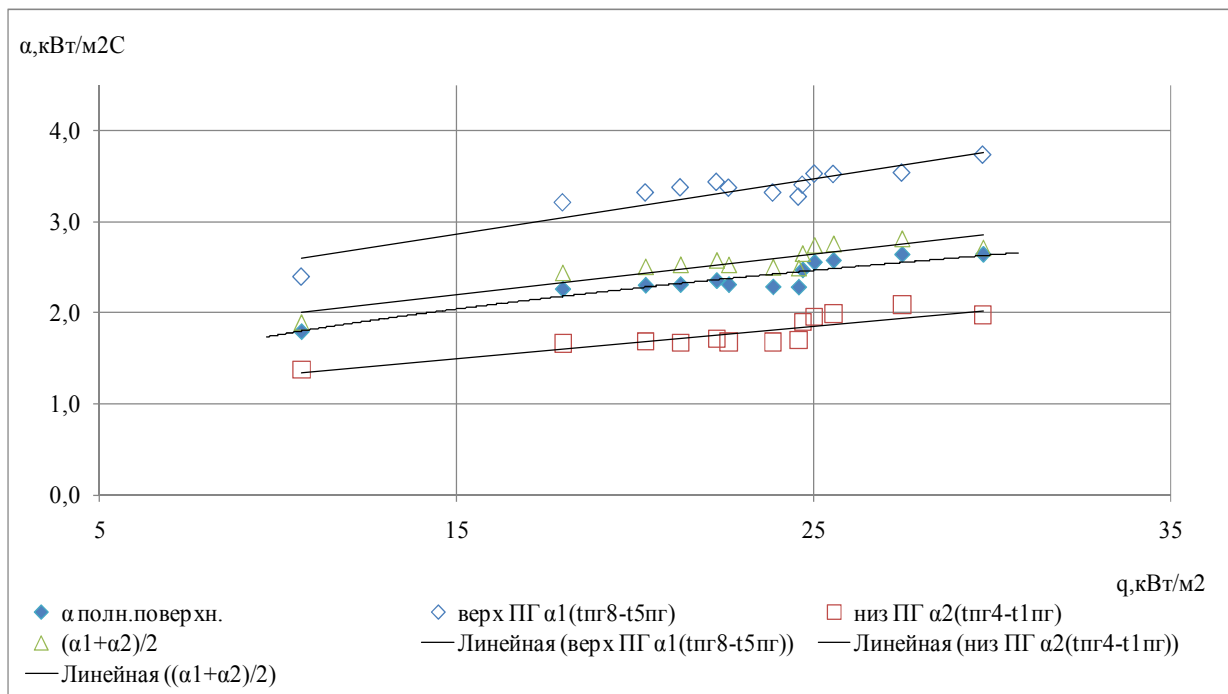


Рис. 2. График зависимости коэффициента α (кВт/м²*°С) теплоотдачи ВВД к стенкам трубок ПГ от теплового потока q (кВт/ м²).

Схема ПГ с обозначениями из протоколов испытаний

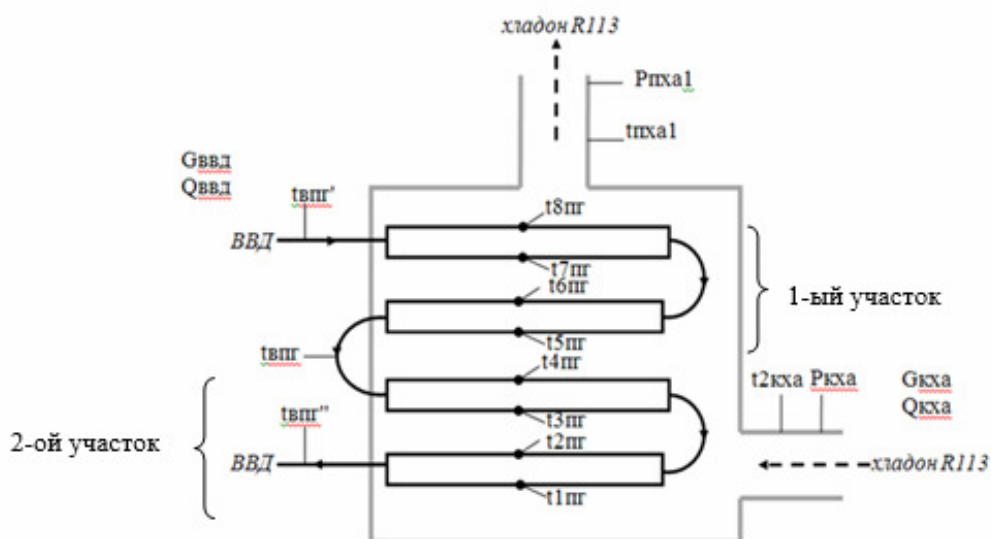


Рис. 3. Схема ПГ с обозначениями

На рис.4 представлен график зависимости коэффициента α ($\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) теплоотдачи ВВД к стенкам трубок ПГ от теплового потока q ($\text{кВт}/\text{м}^2$) при переменной тепловой нагрузке со стороны греющей среды к ПГ.

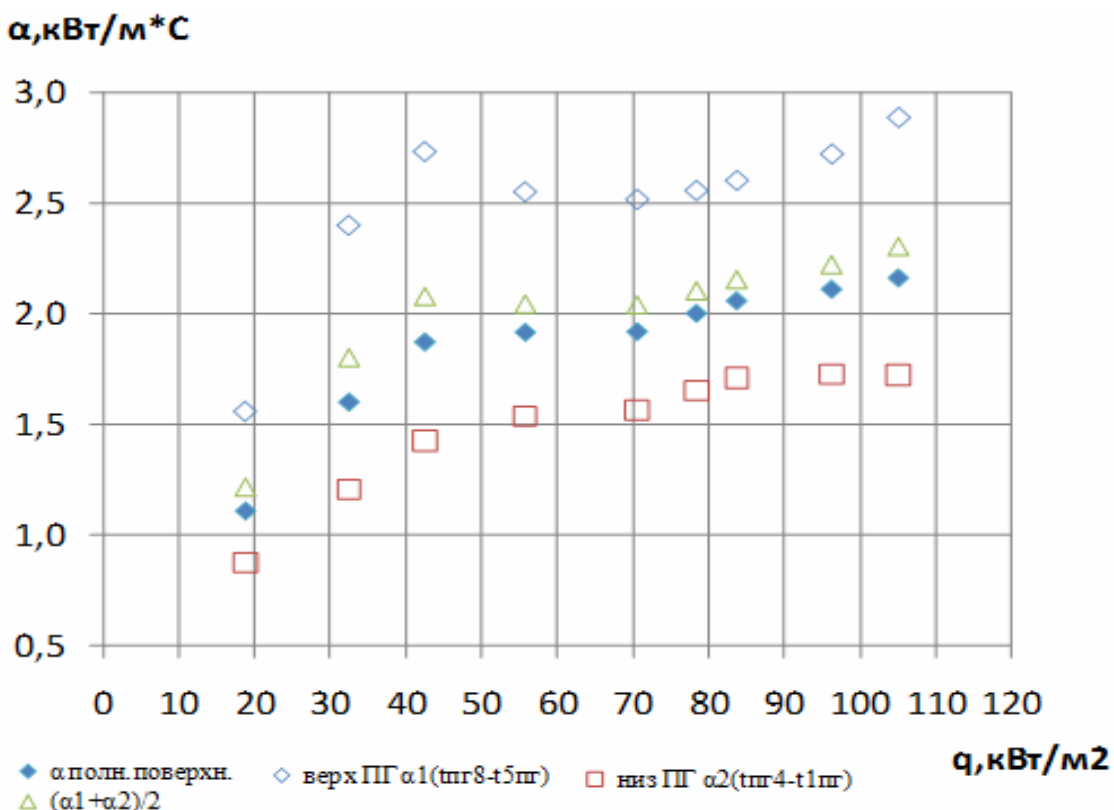


Рис. 4. График зависимости коэффициента α ($\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) теплоотдачи ВВД к стенкам трубок ПГ от теплового потока q ($\text{кВт}/\text{м}^2$)

Представленные исследования и дальнейшее продолжение испытаний элементов утилизационной установки дают возможность накопить экспери-

ментальную базу, которая позволит разработать проекты отечественных утилизационных энергомодулей, которые будут востребованы и конкурентноспособны на мировом рынке электрогенерирующих и теплогенерирующих компаний.

Список литературы

[1] *Сергиенко Р.В.* Пути повышения эффективности рабочего цикла энергетических утилизирующих установок с низкокипящими рабочими телами/ Р.В.Сергиенко, Б.Д.Билека, В.Я.Кабков // *Авиационно – космическая техника и технология.* -2012. – Вып.8(95).- С.38 - 42

[2] *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей/ Издательство:»Наука» Год издания:1972

Железнов Алексей Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: alexej.zheleznov2016@yandex.ru

СЕКЦИЯ 5

**МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И
ПРОИЗВОДСТВАМИ**

РАЗРАБОТКА НАСТРАИВАЕМОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО ДЕТЕКТОРА ОБЪЕКТОВ

Развитие компьютерных технологий открывает всё больше возможностей для создания интеллектуальных и эффективных систем компьютерного зрения. Они направлены на решение проблем, связанных с обработкой цифровых изображений и распознаванием объектов. В свою очередь, данные алгоритмы направлены на решение задач автопилотирования, распознавания рукописных символов, слежения за объектами, детектирования лиц, проверки на подлинность и других. Однако, универсальные детекторы, хотя и настроены на распознавание до 9000 классов одновременно, не всегда решают локальные задачи, которые стоят перед мобильными автономными системами [1]. Например, модули охранной системы должны опознавать определенные объекты конкретной среды (обитателей квартиры (людей и животных) или работников офиса и передвижаемые объекты (стулья, другие подвижные модули и т. п.)). С другой стороны, универсальные объектные списки содержат возможность распознавать объекты, которые никогда не появятся в поле зрения этой системы. Таким образом, необходимо обеспечить настройку модуля распознавания на уникальные объекты конкретной среды в условиях дефицита ресурсов с точки зрения предоставляемых примеров, вычислительных сред и времени.

Рассмотрим задачу формирования такого детектора объектов на основе нейронных сетей. Помимо этого, обеспечим функцию обучения на произвольных объектах, поданных отдельным набором данных.

Поскольку вычислительные мощности автономной платформы недостаточно высоки, было принято решение производить детектирование с более мощного компьютера, находящегося в одной локальной сети Wi-Fi с Raspberry Pi 3. Таким образом, сигнал с камеры посылается на ноутбук, который, в свою очередь, обрабатывает изображение в реальном времени.

Для обеспечения наиболее быстрой работы алгоритма детектирования, была произведена настройка системы Windows и установка дополнительных драйверов CUDA, переносящих вычислительные мощности алгоритма обучения и детектирования на видеопроцессор NVIDIA [2]. Однако, даже при таких условиях обучение собственного качественного детектора объектов с нуля будет занимать от 10 часов и выше на компьютере с современным аппаратным обеспечением. Следовательно, было принято решение найти готовый детектор, распознающий определенные классы, а затем произвести его тонкую настройку под требуемые объекты.

Задача разработки настраиваемого нейросетевого детектора делится на три подзадачи:

- Разработка трекера объектов для формирования набора данных для обучения

- Поиск наиболее оптимального с точки зрения вычислительной сложности и качества готового решения

- Дообучение найденного нейросетевого детектора объектов

Трекер необходим для автоматизации процесса формирования набора данных, который представляет собой файлы двух типов: само изображение и координаты углов рамок объекта на изображении. Помимо этого, необходимо обеспечить наиболее удобное управление приложением. Пользователь должен выделять объект рамкой лишь один раз, после чего передвигать его в пространстве сцены и формировать кадры путем нажатия одной клавиши. В результате, будут сформированы файлы изображений и их аннотация с координатами рамки.

Поскольку трекер объектов не должен иметь никаких специфических особенностей, простым решением является использование библиотеки OpenCV, в которой уже имеются готовые решения. Наиболее качественным с точки зрения робастности трекером является CSRT, который и будет использоваться в данной работе [3].

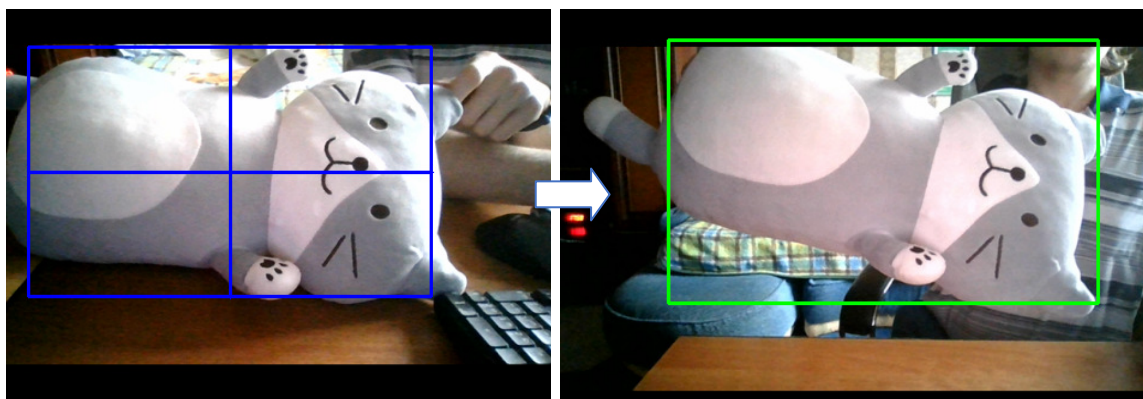


Рис. 1. Трекинг выделенного рамкой объекта

На рис. 1 представлен процесс формирования набора данных. Пользователю достаточно выделить объект рамкой, передвигать объект и нажимать на кнопку для получения снимков.

Следующей задачей является поиск детектора объектов оптимального по скорости, простоте дообучения и качеству. Было выделено несколько вариантов:

- Алгоритм You Only Look Once на основе библиотеки Keras [4]
- MobileNet Single Shot Detector на основе библиотеки Keras [5]
- MobileNet Single Shot Detector на основе библиотеки OpenCV dnn
- MobileNet Single Shot Detector на основе Object Detection API от TensorFlow [6]

Поскольку алгоритм YOLO показал низкую производительность (10-12 кадров в секунду) даже при вычислении на GPU, было принято решение отказаться от его использования. Выбор был сделан в пользу MobileNet SSD, поскольку он демонстрирует хорошую производительность как на GPU, так и на CPU (около 20 кадров в секунду). После тестирования данного алгоритма

в разных реализациях, лучшего всего с точки зрения простоты дообучения и скорости он показал себя на основе Object Detection API от TensorFlow.

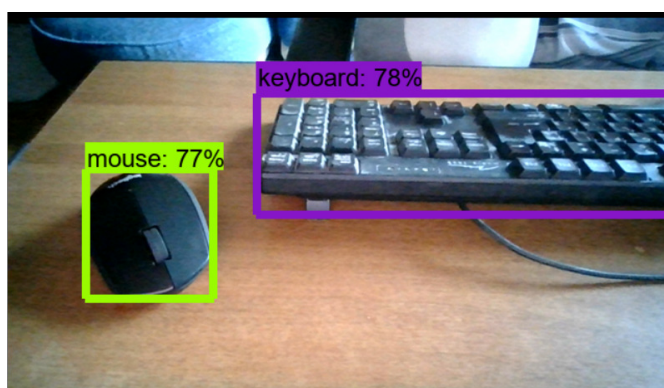


Рис. 2. Детектирование объектов заранее обученной нейронной сетью MobileNet SSD

На рис. 2 показан пример работы MobileNet SSD до её тонкой настройки.

При дообучении данной модели достаточно правильно настроить файл конфигурации, сформировать карту меток, в которой каждому объекту присваивается идентификационный номер и имя класса, а также сгенерировать на основании набора данных промежуточные файлы .tfrecord, которые будут понятны Object detection API. Изменение структуры последних слоёв для получения нужного количества классов на выходе сети происходит автоматически.

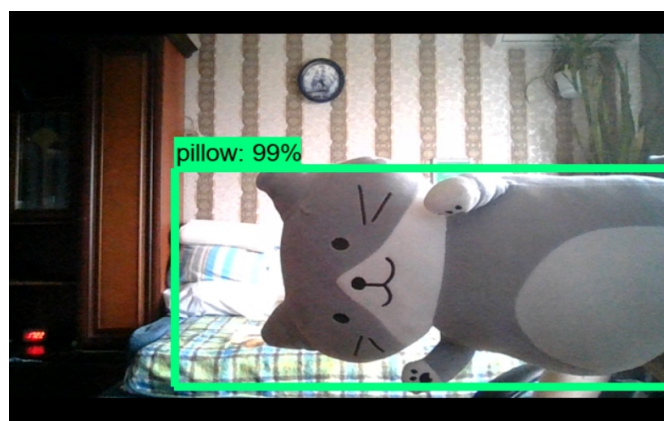


Рис. 3. Детектирование объекта из сформированного набора данных

На рис. 3 показан пример работы модели, доученной на объект «подушка». Таким образом, было разработано два приложения: трекер для формирования набора данных и детектор. Разработанный нейросетевой детектор объектов может быть дообучен на 90 новых классах. Если количество классов превысит 90, велика вероятность, что детектирование начнет терять качество, поскольку архитектура данной сети не была рассчитана на это. Полученного результата более чем достаточно для решения задач управления в условиях помещений.

Список литературы

- [1] *Д.С. Трушков, Н.В. Лохмачев, Е.Ю. Корлякова.* Подходы к формированию управляющего сигнала на основе потока кадров. Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 19 – 21 ноября 2019 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – С. 208–210.
- [2] *Anna Fatkina, Maxim Gonchar, Liudmila Kolupaeva, Dmitry Naumov, Konstantin Treskov.* CUDA Support in GNA Data Analysis Framework [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – URL: <https://arxiv.org/abs/1804.07682> – 2018.
- [3] *Alan Lukezic, Tomas Vojir et al.* Discriminative Correlation Filter Tracker with Channel and Spatial Reliability [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1611.08461.pdf> – 2016.
- [4] *J. Pedoeem, R. Huang.* YOLO-LITE: A Real-Time Object Detection Algorithm Optimized for Non-GPU Computers [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – URL: <https://arxiv.org/abs/1811.05588> – 2018.
- [5] *Alan Lukezic, Tomas Vojir et al.* MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf> – 2017.
- [6] *Jonathan Huang, Vivek Rathod et al.* Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf> – 2017.

Лохмачев Никита Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: lokhmachevnikita@gmail.com

Трушков Дмитрий Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: dim.alex@mail.ru

Корлякова Екатерина Юльевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: korliakova.ekaterina@yandex.ru

СЕКЦИЯ 6

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ МОДУЛЕЙ

В помещениях, где к чистоте воздуха предъявляются повышенные требования (пищевая, фармацевтическая, микроэлектроника и другие отрасли), используются воздухораспределительные фильтрационные модули/блоки с высокоэффективными фильтрами классов E10-E12, H13-H14, U15-U17 [1].

Поиск решений повышения эффективности работы ФВМ будет способствовать улучшению качества воздуха помещений, а также частоте его обновления, что обуславливает актуальность данной работы.

Фильтровентиляционный модуль (ФВМ) представляет собой устройство, предназначенное для подачи и очистки воздуха в чистых производственных помещениях. Он обеспечивает многократную рециркуляцию воздуха внутри зоны, через абсолютный фильтр, обеспечивая удаление аэрозольных загрязнений и при соблюдении определенных конструкционных решений генерирует однонаправленный ламинарный поток. Для исключения чрезмерного ухудшения качества воздуха рабочей среды (помещений) необходимо осуществлять постоянный воздухообмен.

Несмотря на высокую эффективность данных ФВМ наблюдается ряд недостатков при их работе, которые требуют корректировки.

Целью работы являлось проведение исследования особенностей фильтровентиляционных модулей и снижения их шумовых и вибрационных характеристик.

Фильтровентиляционные модули оснащаются фильтрами классов E10-E12, H13-H14, U15-U17 согласно ГОСТ РЕН 1822-1-2010, выпускаемыми по ТУ 1301-36-02. [2]

Принцип работы ФВМ состоит в следующем: посредством вентилятора, установленного в ФВМ, воздух всасывается из плenumа и, проходя через аэрозольный фильтр, попадает в чистое помещение.

Экспериментальная часть. Исследования проведены на базе АО “Фильтр” на экспериментальном ФВМ.

Первая часть эксперимента заключалась в измерении шумовой характеристики (уровня шума) при разных скоростях вращения вентилятора ФВМ-1206-ЕСЦ-В00А2. Уровень шума измерялся при помощи шумомера “Bruel & Kjaer Hand-held Analyzer Type 2250-L” (рис. 1).

Как и предполагалось, уровень шума при работе ФВМ плавно возрастал прямо пропорционально скорости оборотов вентилятора (с невысокой погрешностью); высокий уровень шума наблюдался на скорости 2000 об/мин.

Вторая часть эксперимента заключалась в определении значений виброскорости и амплитуды колебаний при работе ФВМ.



Рис. 1. Шумомер “Bruel & Kjaer Hand-held Analyzer Type 2250-L”

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой базовую модель фильтровентиляционного модуля ФВМ-1206-ЕСЦ-В00А2, основными составляющими которой являются кожух, вентилятор, фильтр, заборная решётка и клеммная коробка (рис. 2) [2].

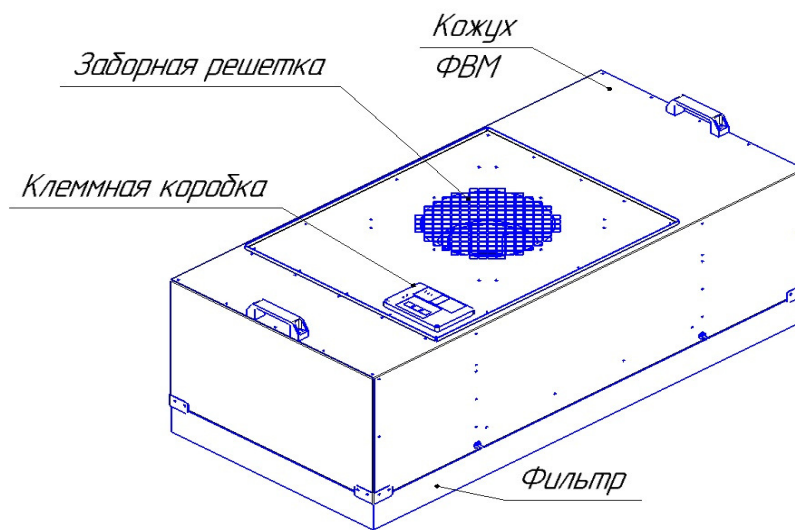


Рис. 2. Экспериментальный ФВМ

К достоинствам экспериментального ФВМ можно отнести: низкий уровень шума при работе; низкая вибрация; большой срок службы; возможность регулировать скорость вращения вентилятора с помощью ЭВМ; коррозионная стойкость материалов; высокая скорость потока воздуха.

Экспериментальный ФВМ имеет ряд недостатков: громоздкость конструкции; необходимость монтажа специального навесного потолка для установки ФВМ [3].

Проводимый эксперимент заключался в определении значений виброскорости и амплитуды колебаний при работе ФВМ. В качестве измерительного прибора использовался виброметр “SCHENCK Vibrometr 25”.

Измерение проводилось по трем точкам (рис. 3).

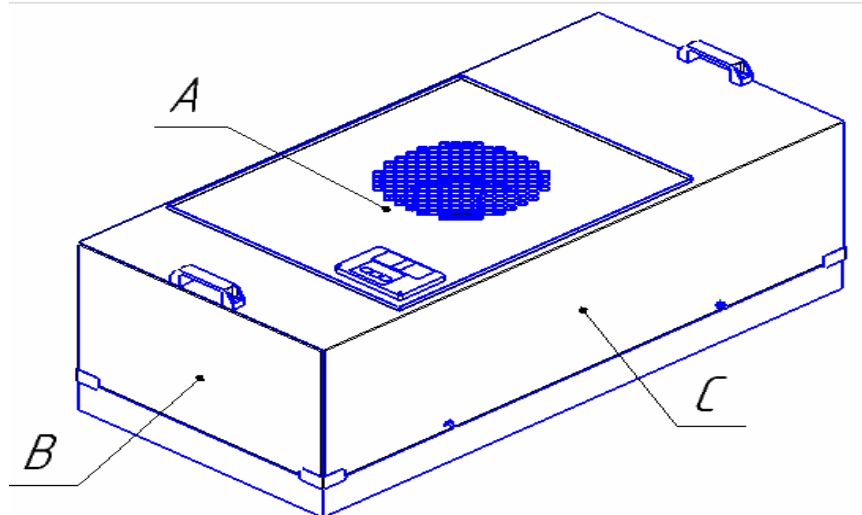


Рис. 3. Схема расположения точек измерения вибрации

В результате проведенного измерения были получены данные, представленные на рис. 4,5.

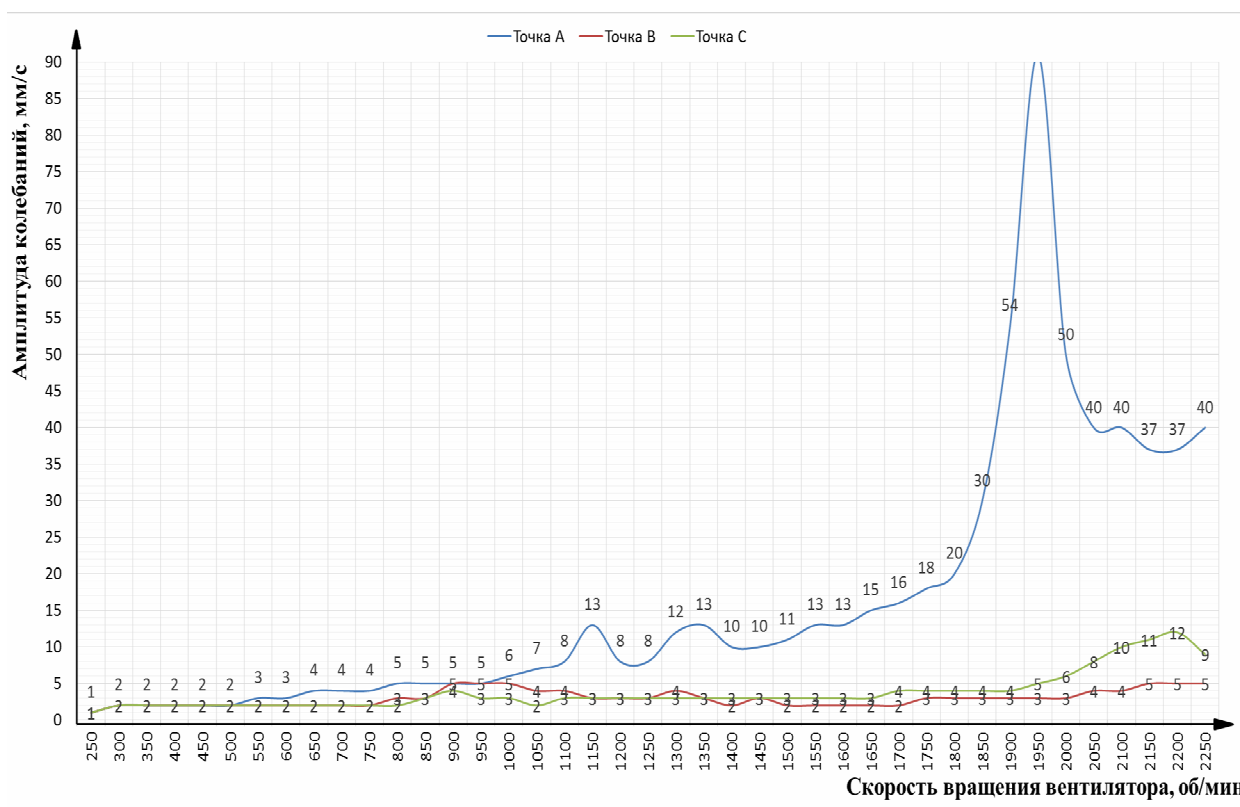


Рис. 4. График зависимости амплитуды колебаний от скорости вращения вентилятора ФВМ

Полученные результаты зависимости амплитуды собственных колебаний корпуса от скорости вращения вентилятора ФВМ (рис. 4) показали, что: 1) график, описывающий характер изменения амплитуды в точке А, наиболее точно описывает, в каких точках наблюдается резонанс колебаний – 1950 об/мин, 1150 об/мин, из-за недостаточной устойчивости конструкции в точ-

ки А; 2) в точке В также наблюдаются скачки амплитуды, соответствующие явлению резонанса, но данные, снятые датчиком в точке В не являются достаточно точными, для проведения дальнейшего исследования по поиску точек резонанса; 3) график, характеризующий изменение роста амплитуды колебаний в точке С, является более точным по сравнению с графиком кривой точки В, так как первый построен на основании данных, снятых датчиком с наименее виброустойчивой стороны, более близкой к радиальному вентилятору.

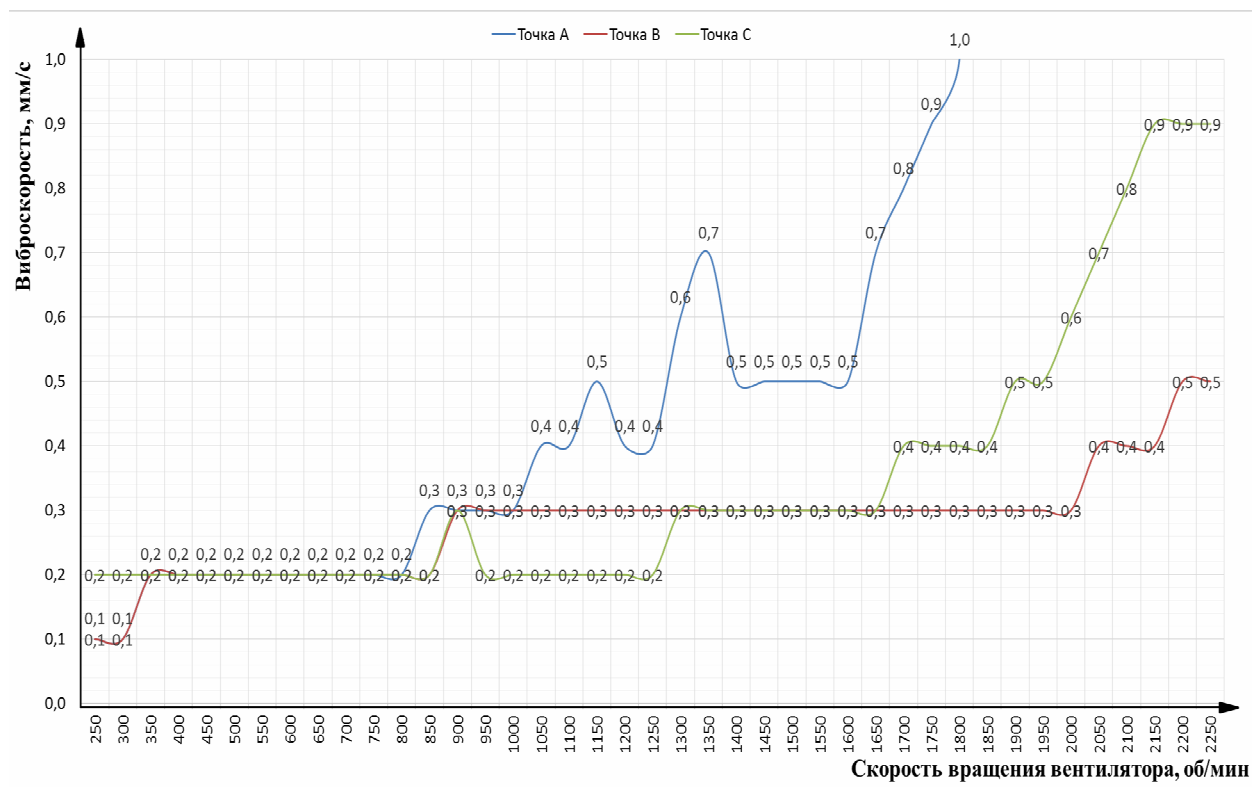


Рис. 5. График зависимости виброскорости от скорости вращения вентилятора ФВМ

Полученные результаты зависимости виброскорости от скорости вращения вентилятора ФВМ (рис. 5) показали, что: 1) график кривой точки А говорит о резких и прерывистых скачках виброскорости, это обусловлено меньшей виброустойчивостью конструкции плоскости А (плоскость, где расположена точка А); 2) график, соответствующий точке В, показывает более плавный характер изменения роста виброскорости в отличие от кривой точки А; 3) график точки С отличается наиболее равномерным ростом кривой, что говорит о хорошей прочности и виброустойчивости конструкции ФВМ в исследуемой точке (плоскости В).

Многопараметрическая оптимизация работы ФВМ. Исследование показало, что при больших оборотах вентилятора (от 2000 об/мин) наблюдается высокий уровень шума, исходящий от ФВМ.

Виброскорость и амплитуда колебаний возрастают, а их соответствующие графики имеют скачкообразный характер, что говорит о явлении резонанса; вершины кривых являются резонансными значениями колебаний; са-

мый большой амплитудный скачок (резонанс) наблюдается на скорости 1950 об/мин (рис. 4); результаты исследования виброскорости (рис. 5) говорят о том, что вентилятор оказывает несущественное энергетическое воздействие на конструкцию ФВМ.

На резонансных частотах наблюдаются незначительные визуальные колебания (вибрация) конструкции ФВМ, в том числе подвешенного крепления установки, однако резонансные колебания не оказывают значительного влияния на ФВМ и не мешают его функционированию.

При больших оборотах вентилятора (от 2000 об/мин) наблюдается высокий уровень шума, исходящий от ФВМ.

После проведенного анализа работы ФВМ был предложен перечень способов решения проблемы многопараметрической оптимизации работы ФВМ:

- уменьшение габаритов модуля за счет уменьшения габаритных размеров вентилятора (без снижения производительности), а также лучшей компоновкой вентилятора внутри корпуса ФВМ;
- смена вентилятора на более малошумный тип;
- вывод работающего ФВМ на минимально возможную частоту вращения (при уменьшении частоты вращения также снижается и шум вращения);
- применение лопаток рабочего колеса с искривленной осью совмещения профиля.

Список литературы

[1]. *Бердышев В.Ф., Шатохин К.С.* Основы автоматизации технологических процессов очистки газов и воды. – М: МИСиС, 2013 [Электронный ресурс] // ЭБС “IPRbooks”: сайт. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/56238.html> (дата обращения: 02.11.2019).

[2]. *Официальный сайт АО “Фильтр”.* [Электронный ресурс] URL: www.ftov.ru (дата обращения: 14.11.2019).

[3]. *Сустин С.А., Митрофьев В.В., Исакович С.А.* Разработка экспериментального малошумного вентилятора // Тезисы XIII всероссийской научно-технической конференции “Газотурбинные и комбинированные установки и двигатели”, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 15 с.

Илюшина Виктория Владимировна – студент ЭКД.М-21 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vicka.ilyuschina@yandex.ru

Яковлева Ольга Владимировна – доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: yakowlewaolga24@mail.ru

Хролынцев Антон Александрович – ведущий инженер-конструктор АО «Фильтр». E-mail: anton@ftov.ru

А.Ю. Логинова, А.С. Гордеев, Н.А. Силаева,
Я.Г. Емельянова, М.Е. Савостьянова

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ КАТИОН АММОНИЯ В СИСТЕМЕ ФЕНТОНА

Ухудшение качества поверхностных вод вследствие сброса в водоемы недостаточно очищенных сточных вод, обогащённых соединениями азота – серьезная экологическая проблема. Государственное значение данной проблемы определяется обязательным ограничением содержания катиона аммония в системе ПДС веществ с возвратными водами в водные объекты и в системе ПДК в природных водах. Антропогенное воздействие на природные водные объекты складывается из токсического влияния поступающих загрязнителей в первую очередь со сточными водами. ГП «Калугаоблводоканал» по всем критериям: по общей нагрузке, по воздействию на санитарный режим за счет сброса большего количества сточных вод содержащих биогенный азот, оказывают наибольшее антропогенное влияние на р. Оку. В работе [1] на основе большого массива данных многолетнего мониторинга выявлены достоверные закономерности увеличения концентрации азотосодержащих соединений в сточных и поверхностных природных водах на урбанизированных территориях г.Калуги, что убедительно доказывает, что ПДК и ПДС недостижимы при использовании традиционных методов очищения сточных вод. В составе хозяйственно бытовых сточных вод основное количество азота находится в форме его восстановленных соединений, таких как аммиак, мочевины, аминокислоты и белки. В хозяйственно-бытовых сточных водах аммиак образуется уже в канализационных трубах в результате биоразложения мочевины, катализируемого ферментами уреазы [2].

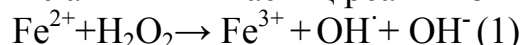
В последние тридцать лет, увеличился объём научных исследований по введению дополнительной окислительной стадии очистки сточных вод от различных токсичных загрязнений. В качестве дополнительных способов для устранения стойких загрязнений в сточных водах, стали широко применяться усовершенствованные процессы окисления (AOPs - Advanced Oxidation Processes) [3-5]. В основном применение которых связано с деструкцией сложных органических веществ под действием сильных окислителей. Наибольший интерес из них вызывает каталитический процесс окисления оснований на использование систем Фентона (H_2O_2/Fe^{2+}), как наиболее экологичный, поскольку окислительные процессы с участием пероксида водорода и переходных металлов являются естественными как, в биологических процессах, так и в процессах самоочищения природных вод [6-8].

Целью данной работы является изучение каталитической деструкции катиона аммония в системах Фентона и фото-Фентона. Задачами работы являлось исследование влияния концентрации пероксида водорода (H_2O_2) и ионов железа (Fe^{2+}) в системе Фентона на окислительную деструкцию катиона

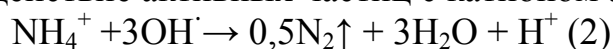
аммония в классическом процессе Фентона и в процессе активированом УФ излучением. В работе использовали модельный раствор сточной воды с концентрацией катиона аммония 50 мг/л, что соответствует высоконцентрированным хозяйственно бытовым сточным водам . (100- ПДК) и реактив Фентона (H_2O_2 и Fe^{2+}). Исходный модельный раствор с реактивом Фентона перемешивали с помощью магнитной мешалки в течении 30 мин и определяли исходную и остаточную концентрацию иона аммония и рН среды. Для приготовления растворов содержащих ионы аммония использовали хлорид аммония [9] и дистиллированную воду. Определение концентрации ионов аммония проводилось потенциометрическим методом с использованием ионоселективного пленочного электрода ЭЛИС-121 [10]. При измерении использовался спектрофотометр ЮНИКО 1210 фирмы «UnitedProductsInstruments, Inc», США. Определение концентрации пероксида водорода проводилось перманганатометрическим методом [11]. Измерение рН осуществлялось с помощью рН-метра-милливольтметра рН-150МА. Ультрафиолетовое излучение (УФ) проводилось с помощью БАВ-ПЦР-«Ламинар-С» мощностью 30 Вт.

Основной особенностью AOPs процесса деструкции катиона аммония в системе Фентона является то, что он основан на двух последовательных стадиях:

I стадия-генерирование активных частиц реактивом Фентона



II стадия-взаимодействие активных частиц с катионом аммония



В наших исследованиях мы изучили влияние концентрации пероксида водорода и катиона железа (II) на степень деструкции катиона аммония. Степень деструкции определяли по формуле: $\alpha = [C_0(NH_4) - C(NH_4)] / C_0(NH_4)$. Так как концентрация пероксида водорода и железа двухвалентного в системе Фентона в значительной степени определяет количество образующихся OH^\cdot радикалов, которые с высокой скоростью взаимодействуют с катионами аммония.

Молярное соотношение $C(H_2O_2):C(NH_4^+)$, согласно, предполагаемого механизма процесса составляет 3:1 и $C(Fe^{2+}):C(NH_4^+)$ также 3:1. В наших исследованиях мы сознательно уменьшили требуемое по стехиометрии количество реактива Фентона, учитывая тот факт, что по механизму реакции образуется ряд дополнительных сильных окислителей (O_2^\cdot , HO_2^\cdot) (табл. 1).

Таблица №1

Кинетическая модель процесса реакции Фентона в кислых средах

| № | Реакция | Константа скорости, л/(моль·с) |
|---|--|--------------------------------|
| 3 | $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^\cdot + OH^-$ | k=56 |
| 4 | $OH^\cdot + H_2O_2 \rightarrow HO_2^\cdot + H_2O$ | k=3·10 ⁷ |
| 5 | $Fe^{2+} + OH^\cdot \rightarrow Fe^{3+} + OH^-$ | k=8,3·10 ⁵ |
| 6 | $HO_2^\cdot + HO_2^\cdot \rightarrow H_2O_2 + O_2$ | k=3·10 ⁸ |

| № | Реакция | Константа скорости, л/(моль·с) |
|----|--|--------------------------------|
| 7 | $\text{OH}^\cdot + \text{OH}^\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ | $k=5,5 \cdot 10^9$ |
| 8 | $\text{OH}^\cdot + \text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ | $k=7,1 \cdot 10^9$ |
| 9 | $\text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{H}^+ + \text{O}_2^\cdot$ | $k=7,5 \cdot 10^6$ |
| 10 | $\text{H}^+ + \text{O}_2^\cdot \rightarrow \text{HO}_2^\cdot$ | $k=1,2 \cdot 10^2$ |
| 11 | $\text{HO}_2^\cdot + \text{O}_2^\cdot \rightarrow \text{HO}_2^\cdot + \text{O}_2$ | $k=9,7 \cdot 10^7$ |
| 12 | $\text{HO}_2^\cdot + \text{OH}^\cdot \rightarrow \text{O}_2^\cdot + \text{H}_2\text{O}$ | $k=10^{10}$ |
| 13 | $\text{O}_2^\cdot + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2$ | $k=1,9 \cdot 10^9$ |
| 14 | $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2^\cdot + \text{H}^+$ | $k=2 \cdot 10^{-2}$ |
| 15 | $\text{HO}_2^\cdot + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ | $k=10^{10}$ |
| 16 | $\text{OH}^\cdot + \text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{HO}_2^\cdot + \text{OH}^\cdot$ | $k=7,5 \cdot 10^9$ |
| 17 | $\text{O}_2^\cdot + \text{OH}^\cdot + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 (\text{s})$ | $k=10^{10}$ |

Влияние реакции (13) было бы существенным только для системы в которой $[\text{Fe}^{2+}] > [\text{H}_2\text{O}_2]$.

Проведено исследование процесса реагентного окисления ионов аммония системой Фентона с УФ-облучения. В качестве объекта исследования выступает модельный раствор с исходной концентрацией 50 мг/л. Полученные результаты представлены на рис.1 и рис.2

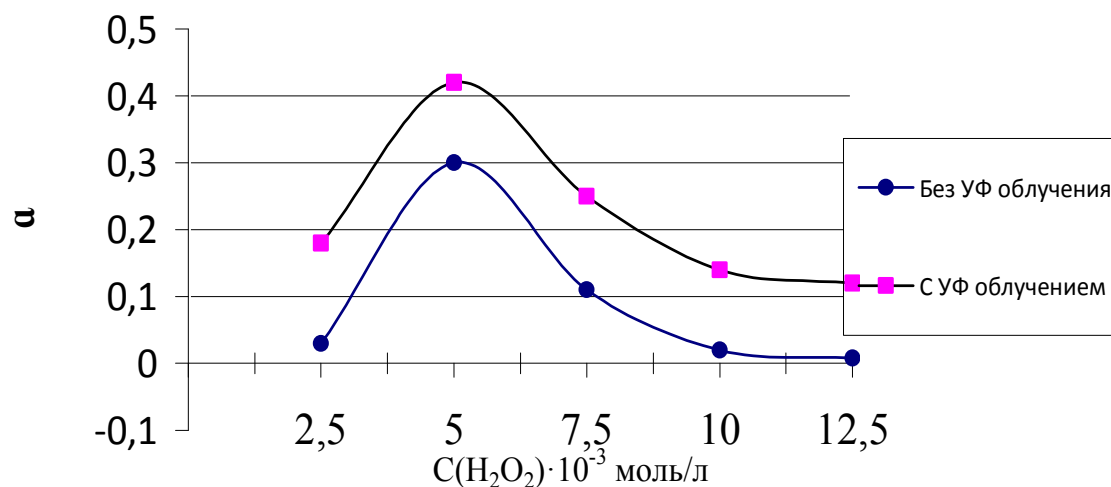


Рис 1. Зависимость степени деструкции катиона аммония от концентрации пероксида водорода ($C(\text{Fe}^{2+})=20$ мг/л)

Как видно из рис.1 эффективность процесса окисления катиона аммония сложно функционально зависит от концентрации пероксида водорода. Максимальная степень деструкции в соответствующих условиях эксперимента варьируется в области концентрации пероксида водорода от $4-6 \cdot 10^{-3}$ моль/л при постоянной концентрации Fe^{2+} равной 20 мг/л. Поэтому во второй части исследования было изучено влияние концентрации Fe^{2+} в системе Фентона концентрация перекиси водорода составляет $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

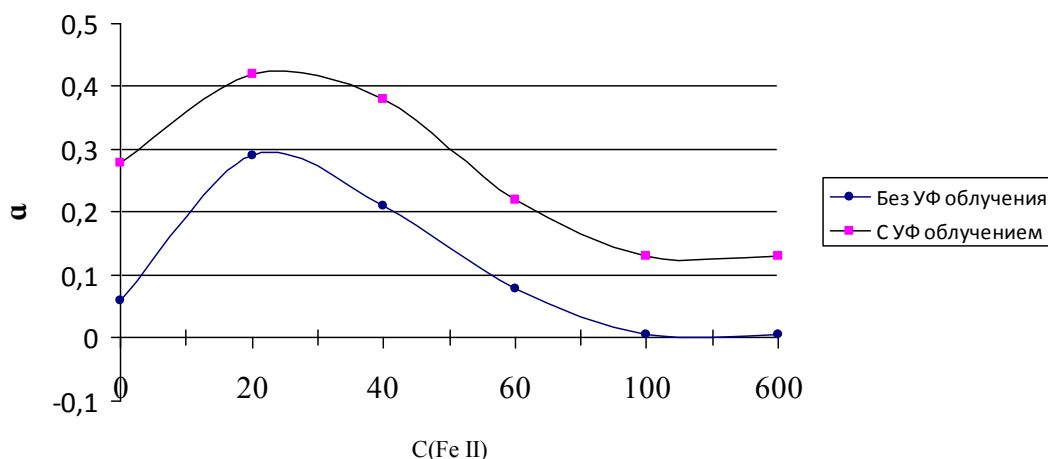


Рис 2. Зависимость степени деструкции катиона аммония от концентрации железа ($C(H_2O_2) = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Анализ зависимости (рис 2) доказывает то, что введение в систему ионов Fe^{2+} усиливает генерирование гидроксид-радикалов по I стадии, так как в присутствии перекиси водорода ионы железа (III) могут образовывать пероксокомплексы, которые также поглощают свет в близкой УФ области и легко фотолизуются с образованием дополнительного количества OH^\cdot радикалов:



Активация каталитического процесса окисления УФ-облучением способствует усилению процесса деструкции при всех исследуемых параметрах процесса. При этом изменения pH в изучаемых системах были незначительными от 5,6 до 5,8 и оставались в слабокислой области.

На основании анализа полученных зависимостей каталитического окисления выкокцентрированных растворов, содержащих катион аммония в системе Фентона можно сделать следующие выводы:

1. Основными факторами, влияющими на степень деструкции катиона аммония, являются концентрация пероксида водорода и железа(II).
2. Активация системы Фентона УФ-облучением увеличивает степень деструкции катиона аммония в среднем от 15 до 20% за счет усиления генерирования OH^\cdot радикалов по I стадии.

Список литературы

- [1]. А.В. Олейник, Я.В. Непогодина, Н.А. Силаева. Нормирование содержания азотсодержащих веществ в сточных и поверхностных водах г. Калуги. Тезисы доклада. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана Т.2- С.31-35.
- [2]. Я.В. Непогодина, Н.А. Силаева. Современные перспективные направления в технологии удаления аммонийного азота из сточных вод. Тезисы доклада. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана Т.4-С.144-149.
- [3]. Photocatalytic oxidation of sulfamethazine / S. Kaniou, K. Pitarakis, I. Barlagianni, I. Poulis //Chemosphere. 2005. Vol. 60. P. 372-380
- [4]. Degradation and inactivation of tetracycline by TiO₂ photocatalysis / С.

Reyes, J. Fernandez, J. Freer, M. A. Mondaca, C. Zaror, S. Malato, H. D. Mansilla // J. of Photochemistry and Photobiology. 2006. Vol. 184. P. 141-146.

[5]. *Photodegradation* of tetracyclines in aqueous solution by using UV and UV/H₂O₂ oxidation processes /J. J. Lopez-Penalver, M. Sanchez-Polo, C. V. Gomez-Pacheco, J. Rivera-Utrilla // J. of Chemical Technology and Biotechnology. 2010. Vol. 85. № 10. P. 1325-1333.

[6]. *Скурлатов Ю.И.* Определяющая роль окислительно-восстановительных процессов в формировании качества природной водной среды. Успехи химии, 1991, вып. 3. с.575–580.

[7]. *Владимиров Ю.А., Арчаков А.И.* Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972, 252 с.

[8]. *Н.А. Силаева, А. Ю. Логинова, Е.А. Мишина, Е.В. Власенкова.* Роль активных форм кислорода в процессах самоочищения природных водных экосистем. Тезисы доклада. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана Т.2-С.46-51

[9]. *ПДК* водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ о Рыболовства от 18.01.2010 №20)

[10]. *РД52.24.394-2012* Массовая концентрация аммонийного азота в водах. Методика измерения потенциометрическим методом с ионоселективным электродом

[11]. *Н.Г. Домина, С.А. Зуйкова, А.И. Хлебников, Н.А. Чемерис.* Аналитическая химия. Учебное пособие.

Логинова Алла Юрьевна – доцент кафедры, канд. хим. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: kf_mgtu_fiz@mail.ru

Гордеев Алексей Сергеевич – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: tungsten-ali@mail.ru

Силаева Наталья Альбертовна – старший преподаватель, Канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_bmstu_fiz@mail.ru

Емельянова Яна Геннадьевна – студентка КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: emelianova_yana00@mail.ru

Савостьянова Мария Евгеньевна – студентка КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: marysavostyanova2018@yandex.ru

УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОРРОЗИЯ ТРУБОПРОВОДОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Ключевые слова: трубопровод, нефть, природный газ, низкоуглеродистая сталь, углекислотная коррозия, ингибиторы коррозии

Ежегодно на нефтегазопроводах происходит около 50-70 тыс. аварий. 90% аварий являются следствием коррозионных повреждений [1]. В случае аварии на нефтепроводе, химическое загрязнение почвы негативно влияет на её физические, химические, ионообменные свойства и биологическую активность.

Для защиты трубопровода в отечественной нефтегазовой промышленности от коррозии существуют следующие способы защиты [2]:

- пассивный (использование особых методов укладки магистрали, нанесение защитных покрытий);
- активный (электрохимическая защита трубопроводов от коррозии);
- уменьшение агрессивности среды.

На сегодняшний момент наиболее эффективным способом борьбы с коррозией изнутри является применение ингибиторов.

Возможность практического применения ингибиторов коррозии в значительной степени зависит от того, удовлетворяют ли они современным высоким требованиям по токсичности. Важно также, чтобы присутствие ингибиторов в промышленных сбросах не загрязняло окружающую среду. В связи с этим в настоящее время наблюдается тенденция к замене некоторых широко распространенных ингибиторов. При этом при рассмотрении возможности использования главное значение придается их токсичности и ущербу, наносимому окружающей среде [3].

Широкое распространение получили ингибиторы на основе азотсодержащих соединений. Известно, что амины, соли аминов, четвертичные аммониевые соединения (ЧАС) широко используются как ингибиторы коррозии нефтепромыслового оборудования в нефтяной промышленности [4].

В связи с тем, что защита технологического оборудования нефтегазовой отрасли от углекислотной коррозии выделилась в самостоятельную проблему сравнительно недавно, ассортимент ингибиторов, предназначенных для предотвращения углекислотной коррозии, относительно невелик.

Отдельные виды ингибиторов не эффективны при повышенных температурах, и их часто необходимо сочетать с соответствующими растворителями, поверхностно-активными веществами и усилителями для эффективной защиты магистралей. Кроме того, очень важно, чтобы ингибиторы коррозии были нетоксичными и экологически безопасными. Поэтому исследования в этом направлении могут иметь большое практическое значение.

Видится интересным использование в качестве ингибиторов уже известных веществ, активно используемых в различных сферах деятельности. Так показана ингибиторная активность лекарственных средств [5].

Нами исследована ингибиторная защитная способность пищевых красителей (E122 «Кармазин», E124 «Понсо», E133 «Синий блестящий») в модельных растворах. Первый модельный раствор был приготовлен в лабораторных условиях и представлял собой 0,1N раствор серной кислоты. Второй модельный раствор состоял из гидрокарбонатной воды, насыщенной углекислым газом.

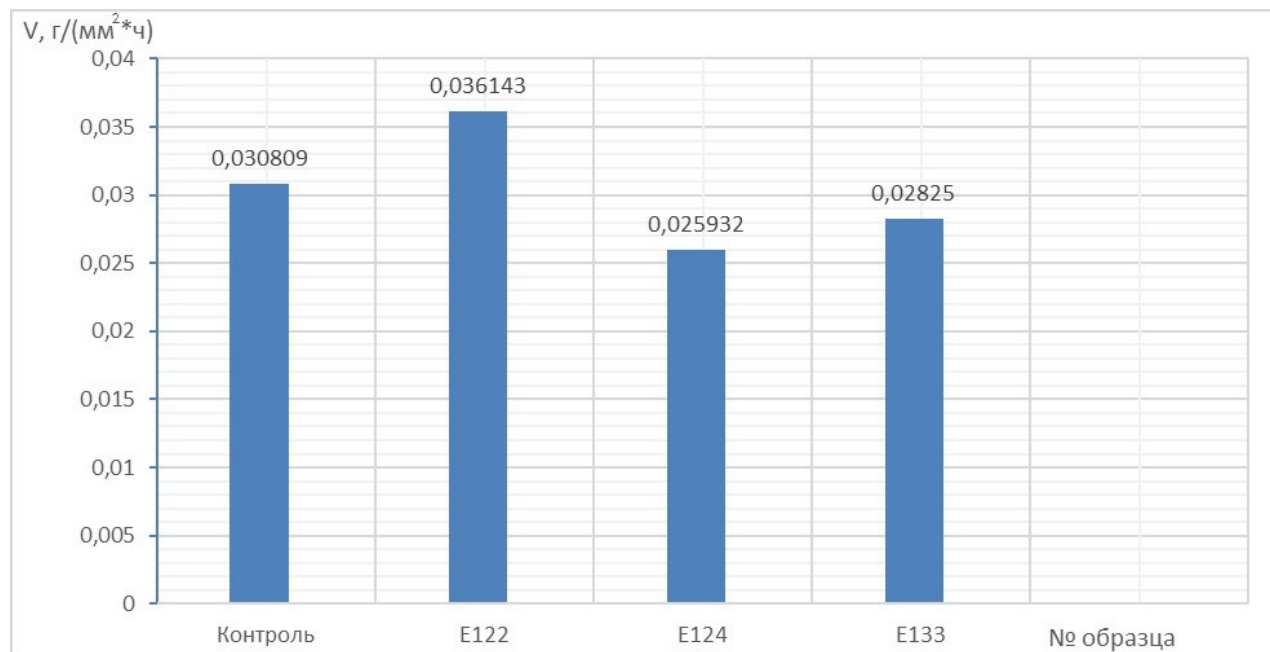


Рис.1. Скорость коррозии в первом модельном растворе

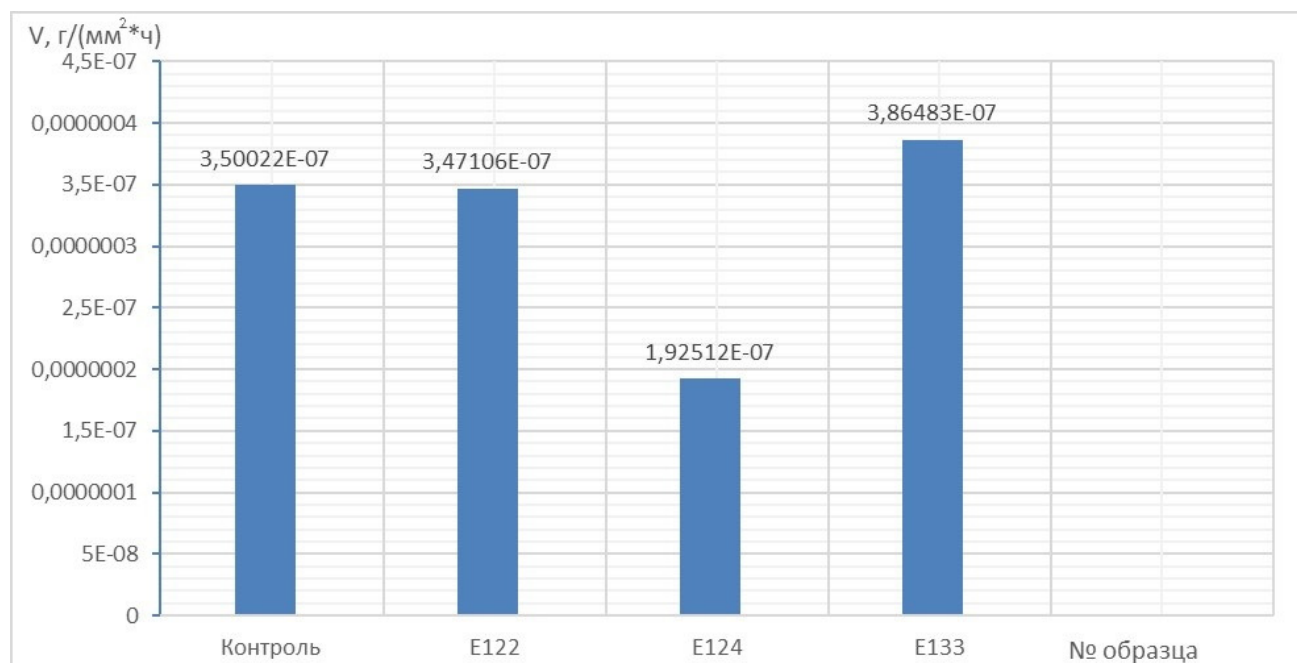


Рис.2. Скорость коррозии во втором модельном растворе

Показано, что пищевой краситель E122 «Кармазин» увеличивал скорость коррозии в первом модельном растворе, так как на этих образцах скорость коррозии выше ($V_{E122}=0,036134$ г/(мм²*ч)), чем на контрольном ($V_{к}=0,030809$ г/(мм²*ч)). При воздействии красителей E124 «Понсо» и E133

«Синий блестящий» в растворе серной кислоты скорость коррозии составила $V_{E124}=0,025932$ г/(мм²*ч) и $V_{E133}=0,02825$ г/(мм²*ч) соответственно.

Во втором модельном растворе пищевой краситель E133 «Синий блестящий» увеличивал скорость коррозии во втором модельном растворе, так как на этих образцах скорость коррозии выше ($V_{E133}=3,86483*10^{-7}$ г/(мм²*ч)), чем на контрольном ($V_k=3,50022*10^{-7}$ г/(мм²*ч)). При воздействии красителей E124 «Понсо» и E122 «Синий блестящий» в растворе серной кислоты скорость коррозии составила $V_{E124}=1,92512*10^{-7}$ г/(мм²*ч) и $V_{E122}=3,47106*10^{-7}$ г/(мм²*ч) соответственно.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что пищевой краситель E124 «Понсо» обладает ингибирующими свойствами в обоих модельных растворах.

В ходе работы проведено практическое исследование ингибирующих свойств пищевых красителей в лабораторных условиях.

В настоящее время многие исследовательские институты проводят работу над изучением ингибирующих свойств веществ растительного происхождения (конский каштан, натуральные продукты, растения) и медицинских препаратов.

Проведенный эксперимент в лабораторных условиях показал, что пищевой краситель E124 Понсо уменьшает скорость коррозии в кислой среде, в то время как другие исследуемые пищевые красители (E122 и E133) ведут себя по-разному в сернокислотном и углекислотном растворах, т.е. не проявляют абсолютных ингибиторных свойств в кислой среде.

Использование пищевых красителей в качестве ингибиторов может позволить снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. К тому же пищевые красители могут стать экономически выгодным решением для предприятий, где оборудование подвержено коррозии.

Список литературы

[1]. *Подалов, Ю.А.* Экология нефтегазового производства [Текст] / Ю.А. Подалов. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – Т.1. – 415 с.

[2]. Способы защиты трубопроводов от коррозии [Электронный ресурс] // Веб-узел Нефтегаз. – 2016. - Режим доступа: <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/sposoby-zashchitytrubopr-ovodov-ot-korrozii/>.

[3]. *Улиг, Г.Г.* Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику [Текст] / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревин. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.

[4]. *Борисов, Д.Н.* Четвертичные аммониевые соединения на основе нефтехимического сырья: α -олефинов и оксиэтилированных нонилфенолов [Текст]: дис. канд. хим. наук: 02.00.13 / Борисов Дмитрий Николаевич. – Казань, 2008. – 195 с.

[5]. *Анфилов, К.Л.* Применение медицинских препаратов трифенилметилового ряда в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали / К.Л. Анфилов, Я.Г. Авдеев, Е.Н. Юрасова // Научно-технические материалы в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы

Всероссийской научно-технической конференции, 14 – 16 ноября 2017 г. Т. 3.
– Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – С.247-252.

Федоренко Елизавета Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: lizfed9624@yandex.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ТУРИСТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время сельскохозяйственные ландшафты имеют тенденцию преобразовываться в другие типы ландшафтов, такие как городские, промышленные, туристические, территории коммуникационных объектов (дороги, линии связи, трубопроводы, гидрообъекты) и другие. В виду этого возрастает потребность жителей мегаполисов и крупных городов к проживанию и отдыху в естественной природной среде, но при обеспечении жилья благами и удобствами цивилизации.

Современные требования стремятся к совместным решениям: сохранить традиционные формы выращивания сельскохозяйственной продукции и декоративных растений, защитить ландшафт, предоставить надежные и удобные услуги жизнеобеспечения и с минимальными затратами. Комбинация сельского хозяйства и туризма, в рамках рационального развития, может помочь найти устойчивый способ сохранения и планирования ландшафтов.

Калужская область обладает богатыми природными ресурсами и историческими достопримечательностями для развития агротуризма, удобно расположена в центре Европейской части России, оснащена сетью магистралей и коммуникаций.

Современная городская среда резко отличается от естественных экосистем. Высокая плотность городского населения, которая достигается вследствие строительства многоэтажных домов, наносит непоправимый ущерб окружающей природной среде. Изменяется природный ландшафт. Огромные площади плодородных земель взрезаются котлованами для устройства фундаментов зданий, асфальтируются, бетонируются, так как современный человек стремится создать условия, благоприятные для своей жизни.

Одним из самых актуальных направлений в архитектуре и дизайне современных зданий является неразрывная связь с природной средой. Данное направление реализуется технологиями «зеленого строительства», позволяющими создавать устойчивую архитектурную среду зданий и комплексов, которая сохраняет и улучшает ландшафт.

На базе этой концепции строительство новых агротуристических комплексов позволит улучшить не только экологическую ситуацию, но и решит ряд экономических вопросов. Диверсификация сельскохозяйственной деятельности дает возможность для получения дополнительного дохода с сельского хозяйства.

Основными элементами современного экологического проектирования являются:

1. вентиляционные системы, предназначенные для эффективного отопления и охлаждения;
2. энергоэффективное освещение и приборы;

3. ландшафтный дизайн с местной растительностью и максимальным использованием пассивной солнечной энергии;
4. минимальный вред естественной среде обитания;
5. альтернативные возобновляемые источники энергии, например, солнечная энергия и энергия ветра;
6. несинтетические, нетоксичные материалы, используемые внутри и снаружи;
7. эффективное использование пространства;
8. сбор дождевой воды и безотходное использование водных ресурсов.

Возобновляемая энергия и сельское хозяйство – выигрышная комбинация. Энергия ветра, солнца и биомассы может собираться вечно, обеспечивая фермерам долгосрочный источник дохода. Возобновляемая энергия может использоваться на ферме для замены других видов энергии или продаваться как «товарная культура».

В настоящее время на промышленных предприятиях Калужской области осуществляется производство как ветроэнергетических турбин, так и турбин для преобразования энергии сжигания топлива (включая подготовленную биомассу и органические отходы) в тепло и электроэнергию. Каждая ветровая установка использует менее 40 м² площади поверхности земли, поэтому фермеры могут сажать сельскохозяйственные культуры и выпасать скот прямо до основания турбины.

Характеристики ветра рассмотрим на примере данных наблюдений в г. Калуге.

Таблица 1.

Средняя скорость ветра (м/с) и усредненное направление ветра относительно сторон света (в градусах) на высоте 10 метров над поверхностью земли для г. Калуги (широта 54.533, долгота 36.267)

| Месяц | Скорость ветра, м/с | Направление ветра, градусы |
|----------------|---------------------|----------------------------|
| Январь | 3,18 | 248 |
| Февраль | 3,04 | 231 |
| Март | 3,05 | 212 |
| Апрель | 2,98 | 209 |
| Май | 2,96 | 206 |
| Июнь | 2,75 | 209 |
| Июль | 2,86 | 228 |
| Август | 2,95 | 237 |
| Сентябрь | 3,15 | 237 |
| Октябрь | 3,13 | 239 |
| Ноябрь | 2,89 | 236 |
| Декабрь | 2,99 | 236 |
| Среднее за год | 2,99 | |

В среднем, в г. Калуге большую часть года наблюдается южный и юго-западный ветер. Средняя годовая скорость ветра на высоте 10 метров от поверхности земли – 2,99 м/с. Основные особенности ветрового режима г. Калуги свойственны для всей территории области.

Таким образом, ветровой потенциал Калужской области позволяет эффективное использование энергии ветра в условиях реализации концепции «зеленого строительства».

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатообразующих факторов.

Средняя продолжительность солнечного сияния за год в Калужской области составляет 1776 ч. В отдельные годы продолжительность солнечного сияния может заметно отличаться от средней многолетней величины. В годовом ходе максимум продолжительности солнечного сияния приходится на лето, минимум на зиму. Продолжительность солнечного сияния зависит от облачности, поэтому иногда ее упорядоченный годовой ход нарушается.

Рассмотрим некоторые параметры солнечного излучения для г. Калуги.

Таблица 2.

**Среднемесячная продолжительность светлого времени суток
(в часах) для г. Калуги (широта 54.533, долгота 36.267)**

| | | | | | | |
|---------|--------|---------|----------|---------|--------|---------|
| Месяц | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь |
| Среднее | 8,2 | 9,8 | 11,9 | 14,0 | 16,0 | 17,1 |
| Месяц | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
| Среднее | 16,6 | 14,9 | 12,7 | 10,5 | 8,6 | 7,5 |

Количество солнечной энергии, которая достигает Земли каждый день, огромно. Вся энергия, запасенная в земных запасах угля, нефти и природного газа, равна энергии только 20 солнечных дней. Согласно современным исследованиям, солнечная энергия составляет порядка 1367 Вт/м² (солнечная постоянная). На территории России с помощью солнечных электростанций (при условии, что КПД солнечных элементов составляет сегодня 16 %) в среднем можно получить 163,2 Вт/м².

Солнечная энергия может использоваться в сельском хозяйстве различными способами, экономя финансовые ресурсы, повышая самообеспеченность и уменьшая загрязнение окружающей среды. Солнечная энергия может сократить расходы на электричество и отопление на ферме. Солнечные коллекторы можно использовать для сушки сельскохозяйственных культур и обогрева домов, животноводческих помещений и теплиц. Солнечные водонагреватели могут обеспечить горячую воду для молочных производств, очистки помещений и дома, а также для коммунальных нужд. Таким образом, использование солнечной энергии является перспективным направлением экологического проектирования.

В данной статье были рассмотрены лишь два аспекта современного экологического проектирования, тем не менее, другие направления, такие как,

эффективное использование отходов сельскохозяйственных культур и биомассы, безотходное использование водных ресурсов, сооружение биоплато и другие, все вместе имеют большое значение для успешной реализации экологического подхода к проектированию современных объектов сельскохозяйственного и туристического назначения.

Таблица 3.

Солнечная инсоляция ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) и оптимальный угол наклона солнечных батарей относительно поверхности земли (в градусах) для г. Калуги (широта 54.533, долгота 36.267)

| Месяц | Солнечная инсоляция, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ | Оптимальный угол наклона, градусы |
|----------------|---|-----------------------------------|
| Январь | 1,69 | 70 |
| Февраль | 2,73 | 62 |
| Март | 3,82 | 49 |
| Апрель | 4,25 | 32 |
| Май | 5,11 | 18 |
| Июнь | 5,04 | 10 |
| Июль | 5,04 | 15 |
| Август | 4,51 | 27 |
| Сентябрь | 3,12 | 41 |
| Октябрь | 2,13 | 56 |
| Ноябрь | 1,46 | 66 |
| Декабрь | 1,33 | 73 |
| Среднее за год | 3,36 | 43,1 |

Список литературы

- [1]. *Гиссен Д.* Национальный строительный музей. Большой и зеленый: на пути к устойчивой архитектуре в 21 веке. — Нью-Йорк: Princeton Architectural Press. — 2002.
- [2]. *Вин Д., Джодидио Ф.* Зеленая архитектура. — Кёльн: Taschen. — 2008.
- [3]. *Дьяконов К.Н., Дончева А.В.* Экологическое проектирование и экспертиза. — М.: Аспект Пресс. — 2005.
- [4]. *Гумадиева Л.И., Кулеева Л.М.* Принципы «зеленой архитектуры» на основе концепции Ф.Л. Райта. — Казань: Известия КГСАУ. — 2015.
- [5]. *Анисимова И.И.* Уникальные дома от Райта до Гери. — М.: Архитектура-С. — 2009.

Чериканова Евгения Андреевна – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: simplemiracle@yandex.ru

Стерликова Алина Игоревна – студент МАРХИ. E-mail: sterlikova.ai@mail.ru